

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004年11月11日 (11.11.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/098234 A1

(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H04R 1/44, 1/34, G01F 1/66, G01S 7/52

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/005436

(22) 国際出願日: 2003年4月28日 (28.04.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市 大字門真1006番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 橋本 雅彦 (HASHIMOTO,Masahiko) [JP/JP]; 〒575-0003 大阪府 四條畷市 岡山東2-3-20-104 Osaka (JP). 永原 英知 (NAGAHARA,Hidetomo) [JP/JP]; 〒619-0224 京都府 相楽郡 木津町兜台5-1-13-8-304 Kyoto (JP). 鈴木 正明 (SUZUKI,Masaaki) [JP/JP]; 〒

(74) 代理人: 河宮 治, 外 (KAWAMIYA,Osamu et al.); 〒540-0001 大阪府 大阪市 中央区北堀町1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka (JP).

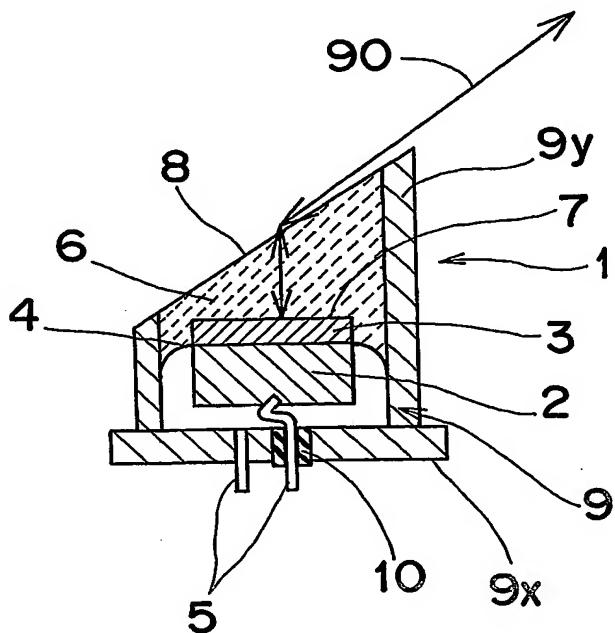
(81) 指定国(国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(広域): ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ULTRASONIC SENSOR

(54) 発明の名称: 超音波センサ



(57) Abstract: An ultrasonic sensor comprising an ultrasonic vibrator (2) for transmitting and/or receiving an ultrasonic wave, and a propagation medium section (6) forming a propagation path of ultrasonic wave, wherein the mutual relation is set appropriately between the density  $\rho_1$  and the sound velocity  $C_1$  of the propagation medium section (6), and between the density  $\rho_2$  and the sound velocity  $C_2$  of fluid filling the surrounding space, and propagation loss of ultrasonic wave into the fluid is substantially reduced to zero by refracting the ultrasonic wave at an appropriate angle.

(57) 要約: 超音波の送信及び/又は受信を行う超音波送振動子(2)と、超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部(6)とを備えており、伝搬媒質部(6)の密度 $\rho_1$ 及び音速 $C_1$ 、並びに周囲空間を満たす流体の密度 $\rho_2$ 及び音速 $C_2$ の相互関係が適切に設定され、かつ超音波を適切な角度に屈折させることにより、流体中への超音波の伝搬損失がほぼゼロに低減される。

WO 2004/098234 A1

Best Available Copy



添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

## 超音波センサ

## 5 技術分野

本発明は、超音波の送波又は受波を行う超音波センサ、詳しくは、超音波の送波を行う超音波送波器、又は、超音波の受波を行う超音波受波器、又は、そのいずれか若しくは両方を行う超音波送受波器に関する。

## 10 背景技術

近年、超音波送受波器は、距離測定、物体検知、流量計測、ロボット制御などの広い分野で工業的に利用されている。

15 第1の超音波送受波器としては、例えば特公平6-101880号公報に記載されている超音波送受波器がある。以下、図10を参照して従来の超音波送受波器の構成及び動作について説明する。

図10は、第1の従来の超音波送受波器の断面図である。図10において、100は超音波送受波器、101は超音波振動子、102は音響整合層、103はハウジングを示している。

20 図10の構成において、最初に送波時の動作について説明する。超音波振動子101は、信号線104を経由して、駆動回路（送信回路701）からの駆動信号が与えられ、一般的には超音波振動子101の共振周波数近傍の周波数で超音波振動を発生する。超音波振動子101において発生した超音波振動は、音響整合層102を経由して超音波送受波器の周囲の流体に送波される。音響整合層103は、周囲の流体の音響インピーダンスと超音波振動子101の音響インピーダンスの中間の音響インピーダンスを持つ材料で構成され、周囲の流体への送波効率を向上させる機能を有している。

25 超音波振動を発生する超音波振動子101は、典型的には圧電セラミックが用いられ、その音響インピーダンスは、例えば、 $30 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度である。周囲の流体が空気などの気体の場合、例えば空気の音響インピーダ

ンスは $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）程度であり、音響整合層102の音響インピーダンスは $0.11 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）程度に設定され、かつ厚みが想定された超音波の周波数における波長の $1/4$ に設定されることが好ましい。

従来、圧電振動子及び空気の中間的な音響インピーダンスを持つ整合層を形成するため、密度が比較的小さな材料（例えばガラスバルーンやプラスチックバルーン）を樹脂で固めた材料が使用されている。

次に、超音波受波時の動作を説明する。周囲の流体中を伝搬して超音波送受波器100に到達した超音波は、超音波送波時とは逆に音響整合層102を経由して超音波振動子101に伝えられる。超音波振動子101は、超音波による力学的作用を電気信号に変換し、信号線104を経由して、図示していない電気処理部へ信号が伝達される。

以上の超音波送受波器100の送受信動作において、超音波の送受信は超音波振動子101と音響整合層102の積層方向、すなわち音響整合層102の垂線方向に行われる。

第2の従来の超音波送受波器としては、例えば、特開2000-304581号公報に記載の超音波流量計において公開された超音波送受波器がある。以下、図11を参照して従来の超音波送受波器の構成及び動作について説明する。

図11は、第2の従来の超音波送受波器の断面図である。図11において、104は第1音響整合層、105は第2音響整合層を示している。第1音響整合層104は、音速と密度の異なる材料板（104a、104b、104c、…）を複数積層した構造であり、音速の大きな材料から順次小さい材料に積層されている。

以下、図11の構成における超音波送受波器100の動作を説明する。送波時には、図示されていない信号線によって印加された駆動信号により、超音波振動子101で発生した超音波は、第1音響整合層104（104a、104b、104c、…）を伝搬し、第2音響整合層105に入射する。積層された第1音響整合層104の各層（104a、104b、104c、…）を超音波が通過する時間は等しくなるよう設定されており、第1音響整合層104と第2音響整合層105の界面では超音波の波面が一致する。すなわち、第2音響整合層

105 内では、第1整合層104との界面の垂線方向に伝搬する。

第2音響整合層105内を伝搬した超音波は、第2音響整合層105と周囲の流体の界面との音速の違いにより屈折し、方向を変えて周囲の流体へ放射される。

受波時においては、送波時と逆の過程により、周囲の流体を伝搬して超音波送受波器100に到達した超音波は、第2音響整合層105との界面で屈折して第2音響整合層105に入射し、第1音響整合層104を経由して超音波振動子101で電気信号に変換される。この場合には、送波方向から到達した音波が選択的に受波される。

第2の従来の超音波送受波器の場合には、屈折を利用して音波の方向を変えていることから超音波流量計に応用する際には、超音波送受波器を計測流路の壁に一体化させることができるために、計測対象の流体の流れの乱れを発生させない利点がある。

しかしながら、第1の従来の超音波送受波器のような低密度の整合層を用いても、圧電セラミックなどの超音波振動子から空気などの気体中に超音波を伝搬させる場合には、どうしても伝搬損失が生じ、送受波の効率が低下するという問題があった。超音波を固体から気体へ効率よく伝搬させることができない理由は、固体の音響インピーダンスに比べて気体の音響インピーダンスが格段に小さく、中間に整合層を介在させても界面で超音波の強い反射が生じてしまうためである。

さらに、上記の第2の従来の超音波送受波器に示す屈折を利用して超音波の偏向を行うタイプの超音波送受波器では、偏向角に伴う損失が加わり偏向角が大きくなると送受波効率が極端に低下して実質的に適用できないという問題があった。

従って、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、超音波の偏向が可能であり、かつ送受波の効率が高い高感度な超音波センサを提供することにある。

25

## 発明の開示

本発明は、上記目的を達成するため、以下のように構成している。

本発明は、流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子と、

上記超音波振動子と上記周囲空間との間に空間に充填されて上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部とを備える超音波センサを提供する。

また、本発明による超音波センサは、流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子と、

上記超音波振動子と上記周囲空間との間に配置されて上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部とを備え、

上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速  $C_1$ 、上記空間を満たす流体の密度  $\rho_2$ 、及び上記空間を満たす流体における音速  $C_2$  が、 $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1$  の関係を満足するように構成する。

また、本発明の超音波センサは、流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波送センサであって、

超音波振動子と、

上記超音波振動子と上記周囲空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部と、

上記伝搬媒質部に接して配置され上記超音波の伝搬経路を制御する反射体を備え、

上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速  $C_1$ 、上記空間を満たす流体の密度  $\rho_2$ 、及び上記空間を満たす流体における音速  $C_2$  が、 $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1$  の関係を満足するように構成する。

本発明によれば、被測定流体の流路を規定する内壁を有する流量測定部と、

上記流量測定部の内壁に囲まれた流路空間の外側に設けられ、超音波の送信又は受信を行う少なくとも 1 つの超音波振動子と、

上記超音波振動子と上記流路空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部と、

を備えた超音波流量計であって、

上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速  $C_1$ 、上記被測定流体の密度  $\rho_2$ 、及び上記被測定流体における音速  $C_2$  が、 $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1$  の関係を満足するように構成する。

$C_2 < 1$  の関係を満足するように構成する超音波流量計を提供する。

本発明の第 27 様によれば、ガスの流路を規定する内壁を有する流量測定部と、

上記流量測定部の内壁に囲まれた流路空間の外側に設けられ、超音波の送信又 5  
は受信を行う一対の超音波振動子と、

上記一対の超音波振動子の各々と上記流路空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を屈折させる一対の伝搬媒質部と、  
を備え、

上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第 1 表面領域 10  
と、上記流路空間に対向する第 2 表面領域とを有しており、

上記伝搬媒質部の第 1 表面領域は、上記流路空間内における上記ガスの流速方  
向に対して傾斜し、上記第 2 表面領域は、上記流路空間内における上記ガスの流  
速方向に対してほぼ平行である超音波流量計を提供する。

本発明の第 29 様によれば、流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送 15  
信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子と、

上記超音波振動子と上記周囲空間との間の空間に充填されて上記超音波の伝搬  
経路を形成する伝搬媒質部とを備え、

上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第 1 表面領域 20  
と、上記周囲空間を満たす流れに対向する第 2 表面領域とを有しており、上記伝  
搬媒質部の上記第 2 表面領域は、上記第 1 表面領域に対して傾斜している超音波  
センサを提供する。

#### 図面の簡単な説明

本発明のこれらと他の目的と特徴は、添付された図面についての好ましい実施 25  
形態に関連した次の記述から明らかになる。この図面においては、

図 1 A は、本発明の第 1 実施形態にかかる超音波送受波器の概観の斜視図であ  
り、

図 1 B は、上記第 1 実施形態の超音波送受波器の長手方向に直交する図 1 A の

B—B線断面図であり、

図2は、上記超音波送受波器の伝搬媒質部と周囲空間の流体との界面における超音波の屈折を示す断面図であり、

図3Aは、本発明の第2実施形態による超音波送受波器の概観の斜視図であり、

5 図3Bは、上記第2実施形態の超音波送受波器の円筒中心線上の断面図であり、

図3Cは、上記第2実施形態の超音波送受波器の超音波振動子の電極構造の一例を示した斜視図であり、

図4Aは、本発明の第3実施形態による1つの超音波送受波器の概観の斜視図であり、

10 図4Bは、上記第3実施形態の図4Aの超音波送受波器の円筒中心線上の断面図であり、

図5Aは、本発明の上記第3実施形態による他の超音波送受波器の概観の斜視図であり、

15 図5Bは、上記第3実施形態の図5Aの超音波送受波器の円筒中心線上の断面図であり、

図6Aは、本発明の第4実施形態のにかかる超音波送受波器の概観の斜視図であり、

図6Bは、上記第4実施形態の超音波送受波器の円筒中心線上の断面図であり、

20 図6Cは、上記第4実施形態における別の円筒形の超音波送受波器の中心軸を含む断面図であり、

図6Dは、上記第4実施形態の超音波送受波器の超音波振動子の電極面の一例を示す斜視図であり、

図7は、本発明の第5実施形態にかかる超音波送受器の一部断面斜視図であり、

図8A, 8Bは、本発明の第6実施形態にかかる超音波送受器の概観図であり、

25 図9A, 9B, 9Cは、本発明の第7実施形態にかかる超音波送受器をそれぞれ異なる分野に適用した場合の説明図であり、

図10は、従来の超音波送受波器の断面図であり、

図11は、従来の他の超音波送受波器の断面図であり、

図12A, 12Bは、本発明の第8実施形態にかかる超音波流量計の長手方向に

沿った断面図、第8実施形態の超音波流量計の長手方向に直交する、図12AのB—B線断面図であり、

図13は、伝搬媒質部と被測定流体との界面における超音波の屈折を示す図であり、

5 図14は、本発明の第9実施形態による超音波流量計の断面図であり、

図15A、15B、15Cは、本発明の第8、9実施形態の変形例にかかる超音波流量計の断面図であり、

図16A、16Bは、本発明の第8、9実施形態の他の変形例にかかる超音波流量計の断面図であり、

10 図17は、従来の超音波流量計の断面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明の記述を続ける前に、添付図面において同じ部品については同じ参照符号を付している。

15 以下、図面を参照しながら、本発明の好ましい実施形態を説明するが、その前に、本発明の様々な態様について説明する。

本発明の第1態様によれば、流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子と、

20 上記超音波振動子と上記周囲空間との間の空間に充填されて上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部とを備える超音波センサを提供する。

本発明の第2態様によれば、流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子と、

25 上記超音波振動子と上記周囲空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部とを備え、

上記伝搬媒質部の密度 $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速 $C_1$ 、上記空間を満たす流体の密度 $\rho_2$ 、及び上記空間を満たす流体における音速 $C_2$ が、 $(\rho_2/\rho_1) < (C_1/C_2) < 1$ の関係を満足するように構成する超音波センサを提供す

る。

本発明の第3態様によれば、上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域と、上記周囲空間を満たす流れに対向する第2表面領域とを有しており、上記伝搬媒質部の上記第2表面領域は、上記第1表面領域に対して傾斜している第2の態様に記載の超音波センサを提供する。

本発明の第4態様によれば、流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子と、

上記超音波振動子と上記周囲空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部と、

上記伝搬媒質部に接して配置され上記超音波の伝搬経路を制御する反射体とを備え、

上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速  $C_1$ 、上記空間を満たす流体の密度  $\rho_2$ 、及び上記空間を満たす流体における音速  $C_2$  が、 $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1$  の関係を満足するように構成する超音波センサを提供する。

本発明の第5態様によれば、上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域と、上記周囲空間を満たす流れに対向する第2表面領域と、上記超音波の伝搬経路の上記第1表面領域と上記第2表面領域との間に配置され、上記反射体と接する少なくとも1つの第3表面領域を有しており、上記伝搬媒質部の上記第2表面領域は、上記第1表面領域及び上記第3表面領域のうち少なくとも1つの領域に対して傾斜している第4の態様に記載の超音波センサを提供する。

本発明の第6態様によれば、上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部と上記周囲空間を満たす流体との界面への超音波の入射角  $\theta_1$ 、上記周囲空間を満たす流体の密度  $\rho_2$ 、及び、上記界面から上記周囲空間を満たす流体への上記超音波の進入角  $\theta_2$  が、 $\rho_2 / \rho_1 = \cot \theta_2 / \cot \theta_1$  の関係をほぼ満足するように構成する第1～5いずれか1つの態様に記載の超音波センサを提供する。

本発明の第7態様によれば、上記伝搬媒質部は、無機酸化物又は有機高分子の

乾燥ゲルから形成されている第1～5のいずれか1つの態様に記載の超音波センサを提供する。

本発明の第8態様によれば、上記乾燥ゲルの固体骨格部は疎水化されている第6の態様に記載の超音波送センサを提供する。

5 本発明の第9態様によれば、上記乾燥ゲルの密度は、 $500 \text{ kg/m}^3$ 以下であり、上記乾燥ゲルの平均細孔直径は、 $100 \text{ nm}$ 以下である第7の態様に記載の超音波センサを提供する。

10 本発明の第10態様によれば、上記超音波振動子と上記伝搬媒質部との間に設けられ、上記超音波振動子と上記伝搬媒質部とを音響的に整合させる音響整合層を有している第1～5のいずれか1つの態様に記載の超音波センサを提供する。

本発明の第11態様によれば、上記周囲空間を満たす流体は、密度 $\rho_2$ が $10 \text{ kg/m}^3$ 以下の気体である第1～5のいずれか1つの態様に記載の超音波センサを提供する。

15 本発明の第12態様によれば、上記超音波の送波又は受波方向が、上記第2表面領域にほぼ平行である第1～5のいずれか1つの態様に記載の超音波センサを提供する。

以下、本発明の実施形態について詳細に説明する。

#### (第1実施形態)

以下、図面を参照して本発明における第1実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器を詳細に説明する。

本発明者は、超音波送受波器において、適切な材料からなる伝搬媒質部を用いて超音波を適切に屈折させれば、界面における損失をほとんど発生させることなく、固体から流体（特に気体）へ超音波を伝搬させることができることを見出して、本発明を想到するに至った。

25 本発明の第1実施形態にかかる超音波送受波器では、超音波振動子の振動面に平行な面と（第1表面領域）と、周囲空間を満たす流体と接する面（第2表面領域）とを有する伝搬媒質部を、超音波振動子と周囲空間を満たす流体との間に配置する。なお、本出願の明細書及び請求の範囲で、「周囲空間を満たす流体」とは、少なくとも第2表面領域に接する流体を意味し、必ずしも、超音波送センサ

(例えば超音波送受波器) の周囲全てを満たす流体を意味するものではなく、その周囲の一部を満たす流体を意味する。

まず、図1A及び図1Bを参照しながら、本発明の第1実施形態にかかる超音波送受波器を説明する。図1Aは、上記第1実施形態における超音波送受波器1の概観の斜視図を示し、図1Bは、図1AのB-B'に沿った上記超音波送受波器1の断面図を示している。

図1A及び図1Bに示されている超音波送受波器1は、電気信号を超音波振動に変換あるいは超音波振動を電気信号に変換する超音波振動子2と、周囲空間の流体と超音波振動子2の間に配置されて超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部6と、超音波振動子2と伝搬媒質部6との間に配置されて超音波振動子2と伝搬媒質部6の音響インピーダンスの整合を取る音響整合層3と、超音波振動子2を内包しつつ超音波振動子2との電気的な導通経路を兼ねる振動子ケース部4と、端子板9xに配置されかつ超音波振動子2へ信号の入出力を行う2本の信号線5と信号線5間の電気的ショートを防ぐための絶縁部10と、2本の信号線5の一部と超音波振動子2と伝搬媒質部6と音響整合層3と振動子ケース部4とを収納するハウジング9とを備えている。ハウジング9は、図1A及び1Bに示されるように軸方向に対して所定角度に傾斜するように切断された円筒形状の側部9yと、側部9yの底部に固定され、ハウジング9の一部として機能する端子板9xとで構成されている。

伝搬媒質部6は、端子板9xと側部9yとによるハウジング9で囲まれかつ振動子ケース部4の外側の空間でかつ該空間内に配置された音響整合層3以外の空間に満たされ、かつ、音響整合層3と超音波振動子2に対向する（ただし、直接的には音響整合層3に対向する）第1表面領域7と、周囲空間を満たす流体に面する第2表面領域8とを有している。さらに、上記伝搬媒質部6の上記第2表面領域8は、上記第1表面領域7に対して、平行とならないように、所定角度だけ傾斜している。ここで、所定角度とは、一例として、0°より大きくかつ90°より小さい角度であるが、実質的には80°より小さいほうが好ましい。上記第1実施形態では、伝搬媒質部6の密度を $\rho_1$ 、伝搬媒質部6の音速を $C_1$ 、周囲空間を満たす流体の密度を $\rho_2$ 、周囲空間を満たす流体の音速を $C_2$ とした

とき、以下の式（1）に示す関係が満足されるように、伝搬媒質部6の材料を選択している。

$$(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

5 流体が空気などの気体の場合、上記条件を満足する材料を見つけることは難し  
い。その理由は、気体の音速 $C_2$ よりも音速 $C_1$ が小さな固体材料が少ないから  
である。上記第1実施形態では、上記条件を満足する伝搬媒質部6を実現するた  
め、無機酸化物又は有機高分子の乾燥ゲルから伝搬媒質部6を形成している。上  
記第1実施形態で用いる乾燥ゲルの固体骨格部は疎水化されており、その密度は  
10 500 kg/m<sup>3</sup>以下である。この乾燥ゲルは、平均細孔直径が100 nm以下の  
ナノ多孔体乾燥ゲル（ナノ多孔質乾燥ゲル）である。

15 なお、無機酸化物の乾燥ゲルの固体骨格部は、少なくとも酸化ケイ素（シリ  
カ）又は酸化アルミニウム（アルミナ）を成分とすることが好ましい。また、有  
機高分子の乾燥ゲルの固体骨格部は、一般的な熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂によ  
り構成することができる。例えば、ポリウレタン、ポリウレア、フェノール硬化  
樹脂、ポリアクリルアミド、又は、ポリメタクリル酸メチルなどを用いることが  
15 できる。

伝搬媒質部6を、例えばシリカを主成分とするナノ多孔体乾燥ゲルから形成す  
る場合、その密度 $\rho_1$ が200 kg/m<sup>3</sup>であれば、音速 $C_1$ を100 m/sから  
20 180 m/s程度の範囲に設定することができる。周囲空間を満たす流体が空気  
である場合、空気の密度 $\rho_2$ は1.22 kg/m<sup>3</sup>、音速 $C_2$ は340 m/sである  
ので、上記の伝搬媒質部6を採用することにより、 $\rho_2 < \rho_1$ 、及び、 $C_1 < C_2$   
の関係を同時に満足させ、かつ、 $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2)$ の関係を満足さ  
せることができる。天然ガスなどのガスを測定する場合には、伝搬媒質部6と  
しては、密度 $\rho_1$ が100～300 kg/m<sup>3</sup>、音速 $C_1$ が100～300 m/sの  
25 範囲にあることが好ましい。

超音波振動子2は圧電体であり、電気信号の印加により、超音波振動の発生及  
び／又は超音波の到来により電気信号の発生を行うことができる。圧電体としては、  
圧電セラミックスが好適に用いられる。共振特性を制御し、機械的なQ値を  
下げたい場合には、吸収材を周囲に配置してもよい。

なお、上記第1実施形態の超音波送受波器1では、伝搬媒質部6と超音波振動子2との間に音響整合層3を設け、超音波発生源である超音波振動子2と伝搬媒質部6との間における音響的整合を高める機能を有している。

シリカを主成分とするナノ多孔体乾燥ゲル（音響インピーダンス  $3 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）から伝搬媒質部6を形成し、かつ超音波振動子1が圧電セラミックス（音響インピーダンス： $30 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）で構成されている場合、音響インピーダンスが $1 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 付近の材料から作製した音響整合層3を採用することにより、超音波エネルギーの伝搬効率をほぼ1、具体的には0.95以上とすることができる。このような材料は、中空ガラス球を樹脂材料で固めた複合材料や、多孔質セラミックで実現できる。音響整合層3の厚さは、使用する超音波の1/4波長に設定することが好ましい。

さらに、上記第1実施形態の超音波送受波器1では、超音波振動子2を振動子ケース4内に内包しており、超音波振動子2は振動子ケース4の天面内側に、音響整合層3は振動子ケース4の天面外側に側に接合され積層構造となる。振動子ケース4は好ましくはステンレス材などの導電性の金属材料で形成され、その厚みは、想定される超音波の波長の1/10以下、好ましくは1/20以下にすることにより、超音波振動子2と音響整合層3の間の音響的整合を良好な状態に保持することができる。

振動子ケース4は、電気溶接などの工法によりハウジング9の端子板9xと接合されており、かつ乾燥窒素やアルゴン等の不活性ガスを注入した密封構造にすることができる。上記の構成により、超音波振動子2は物理的に外気環境と遮断され信頼性の向上が達成でき、かつ電気的にもシールドされた構造になるため、周囲空間を満たす流体が、天然ガス等の可燃性の流体である場合にも高い安全性を確保できる。

次に、図2を参照しながら、超音波が伝搬媒質部6から周囲空間を満たす流体～伝搬する様子を詳細に説明する。

前述した配置関係から、超音波は、超音波振動子1の振動面と対面しつつ平行である第1表面領域7の法線方向から入射するため、伝搬媒質部6と周囲空間を満たす流体との界面である第2表面領域8の法線方向から傾斜した方向に沿って

超音波が入射する。第2表面領域8の法線方向に対する超音波の入射角を $\theta_1$ とする( $0^\circ < \theta_1 < 90^\circ$ )。このとき、超音波は、伝搬媒質部6と周囲空間を満たす流体との界面である第2表面領域8で屈折し、法線方向に対する角度(進入角) $\theta_2$ で被測定流体に進入することになる( $\theta_1 < \theta_2$ )。

5 上記第1実施形態では、周囲空間を満たす流体の密度 $\rho_2$ が与えられたとき、以下の式(2)の関係をほぼ満足するように各種のパラメータ( $\rho_1$ 、 $\theta_1$ 、及び $\theta_2$ )が設定されている。

$$(\rho_2/\rho_1) = (\cot\theta_2/\cot\theta_1) \quad \dots \dots \dots (2)$$

10 このような設定により、超音波エネルギーの伝搬媒質部6から周囲空間を満たす流体への伝搬効率は、ほぼ1になる。このとき、入射角 $\theta_1$ は次式(3)で表される条件を満足する。

$$\begin{aligned} (\cot\theta_1)^2 &= \\ [(\mathbf{c}_1/\mathbf{c}_2)^2 - 1] &/ [(\rho_2/\rho_1)^2 - (\mathbf{c}_1/\mathbf{c}_2)^2] \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (3)$$

15 従って、伝搬媒質部6の $\rho_1$ 、 $\mathbf{c}_1$ 、及び周囲空間を満たす流体の $\rho_2$ 、 $\mathbf{c}_2$ が定まったならば、入射角 $\theta_1$ は式(3)によって決定される。また、入射角 $\theta_1$ が決まれば、式(2)によって進入角 $\theta_2$ も決定される。入射角 $\theta_1$ 及び進入角 $\theta_2$ が定まると、伝搬媒質部6の第2表面領域8の傾斜角度なども決定できる。

20 以上のこととは、周囲空間を満たす流体を伝搬してきた超音波を受波する場合にも、そのまま適用されるため、進入角 $\theta_2$ の方向から到来する超音波が選択的に受波される。

上記第1実施形態では、前述した材料から伝搬媒質部6を形成することにより、伝搬媒質部6の音速 $\mathbf{c}_1$ を $180\text{ m/s}$ 、密度 $\rho_1$ を $200\text{ kg/m}^3$ に設定することができる。周囲空間が空気で満たされている通常空間の場合、空気の密度 $\rho_2$ は $1.22\text{ kg/m}^3$ 、音速 $\mathbf{c}_2$ は $340\text{ m/s}$ であるので、式(2)及び式(3)の関係から、入射角 $\theta_1$ は $32^\circ$ 、進入角 $\theta_2$ は $89^\circ$ に設定すればよい。進入角 $\theta_2$ は $90^\circ$ に近いため、空気中に送波された超音波は、送波面である第2表面領域8とほぼ平行に進行する。したがって、上記第1実施形態の音波の送受波方向は、図1Aのに示される第2表面領域8を含む平面内のB-B'線分に

沿った図 1 A の矢印 9 0 の方向となる。

上記第 1 実施形態によれば、伝搬媒質部 6 と周囲空間を満たす流体との界面である第 2 表面領域 8 での伝搬損失はほとんど生じないため、この界面において双方の音響インピーダンスを整合させる必要はない。従って、伝搬媒質部 6 内から発射される超音波が、伝搬媒質部 6 と周囲空間を満たす流体との界面である第 2 表面領域 8 で屈折して、第 2 表面領域 8 を含む平面沿いの方向に超音波の偏向が可能であり、かつ第 2 表面領域 8 での伝搬損失はほとんど生じないため、送受波の効率が高い高感度な超音波センサを提供することができる。

なお、伝搬媒質部 6 は、密度  $\rho_1$  及び音速  $C_1$  が全体に渡って均質な材料から構成されている必要はなく、密度  $\rho_1$  及び音速  $C_1$  が異なる複数種類の材料層が重ねられた積層構造を有していても良い。このような積層構造を有している場合、超音波は伝搬媒質部 6 を直進しない場合があるが、特に問題はない。重要な点は、伝搬媒質部 6 と被測定流体との界面近傍領域において、前述の式を満足するように伝搬媒質部 6 の密度  $\rho_1$  及び音速  $C_1$  並びに入射角  $\theta_1$  が設定されることにある。

次に、上記第 1 実施形態における超音波送受波器の動作を説明する。

まず、周囲空間を満たす流体に対して送波する場合は、図 9 C に示すの駆動回路を兼ねる送信回路 7 0 1 から信号線 5 を介して超音波振動子 2 (図 9 C では 8 1) に対して、共振周波数近傍 (例えば 1 0 0 k H z ~ 1 M H z 程度) の周波数を持つ交流電圧、パルス電圧、バースト電圧が印加される。これにより、超音波振動子 2 は共振周波数付近の振動を励振され、この振動が超音波として、振動子ケース 4 及び音響整合層 3 を通して伝搬媒質部 6 にほぼ効率 1 の条件で放射される。伝搬媒質部 6 を伝搬した音波は、伝搬媒質部 6 と周囲空間を満たす流体との界面である第 2 表面領域 8 で屈折し、ほぼ効率 1 の状態で周囲空間を満たす流体に放射される。

次に、周囲空間を満たす流体中を伝搬して超音波送受波器 1 に到達する超音波を受波する場合には、送波方向から伝搬してきた超音波に関して送波の場合と逆の経路が成立し、超音波送受波器 1 に入射した超音波はほぼ効率 1 の条件で超音波振動子 2 に到達し、電気信号に変換され信号線 5 を通して外部の電気回路 (例えば受信回路 7 0 2) に伝達される。

上記第1実施形態によれば、適切な密度  $\rho_1$  及び音速  $C_1$  を示す伝搬媒質部 6 を設け、超音波を適切な角度に屈折させるため、物質の界面における伝搬損失をほぼ 0 にし、良好な S/N 比で流量測定を達成することができる。そして、上記第1実施形態によれば、上記伝搬媒質部 6 を用いて超音波を適切に屈折させることにより界面における損失をほとんど発生させることなく、従来の超音波送受波器では超音波の送受波が極めて困難であった気体（例えば水素ガスなど）の超音波の送受波が可能になるため、これらの気体を計測できる流量計測等への応用が可能になる。

更に、上記第1実施形態の超音波送受波器 1 では、伝搬媒質部 6 内から発射される超音波が、伝搬媒質部 6 と周囲空間を満たす流体との界面である第2表面領域 8 で屈折して、第2表面領域 8 を含む平面沿いの方向に超音波の送受信方向が偏向されるため、例えば流量計においては、計測流路に送受波器取り付けに関わる凹凸がなくなり、流体流れの乱れがない流量計が構成できる。また、水平部を有する各種機器の水平面に整合させて取り付けても、水平方向の物体検知などに応用が可能である。

#### （第2実施形態）

図 3 A, 図 3 B, 図 3 C を参照しながら、本発明の第2実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器を説明する。図 3 A は、第2実施形態における超音波送受波器 1 1 の外観の斜視図、図 3 B は、円筒形の超音波送受波器 1 1 の中心軸を含む断面図、図 3 C は超音波振動子 1 2 の電極構造の一例を示した斜視図である。第2実施形態と第1実施形態との間で共通する部材について同様の参照符号を与えている。なお、伝搬媒質部 6 A は第1実施形態の伝搬媒質部 6 に対応し、ハウジング 9 A は第1実施形態のハウジング 9 に対応する。

以下、第2実施形態の超音波送受波器 1 1 に特徴的な点を説明し、第1実施形態における超音波送受波器 1 と同様の部分及び上記対応部分については説明を省略する。

第2実施形態の超音波送受波器 1 1 は、円筒形状の側部 9 z が円板形状の端子板 9 x に固定されてハウジング 9 A を構成されており、端子板 9 x の中央に固定された中心軸 9 a の周りに軸対称に構成されている。したがって、ハウジング 9

Aの円板形状の端子板9 x上に配置された、超音送振動子1 2及び音響整合層1 3はリング形状に構成されている。また、ハウジング9 Aの一部である中心軸9 aに中央部が結合された円板状保護部1 5をさらに設けて、第2表面領域8を保護し、ハウジング9 Aと保護部1 5の間にリング状の開口部1 4を設け、開口部1 4を通して超音波の送受波を矢印9 0 Aの方向に行う。ハウジング9 A内の空間でかつ超音送振動子1 2及び音響整合層1 3以外の空間には伝搬媒質部6 Aがほぼ満たされている。そして、伝搬媒質部6 Aは、音響整合層1 3と超音波振動子1 2とに対向する（ただし、直接的には音響整合層1 3に対向する）第1表面領域7と、周囲空間を満たす流体に面する第2表面領域8とを有している。さらに、上記伝搬媒質部6 Aの上記第2表面領域8は、上記第1表面領域7に対して、平行とならないように、中心軸9 aに対して大略均等に周囲から中心側に向けて所定角度だけ傾斜している。

上記第2実施形態において、具体的な超音波の送受波は上記第1実施形態と同様に高効率に行われて、上記第1実施形態と同様の効果を奏することができる。上記第1実施形態との違いは、超音波送受波器1 1が中心軸9 aの周りに軸対称な構造であることから、中心軸9 aの周り全方位への送受波ができる構造になっている点であり、周囲空間が気体の場合には、送受波はほぼ水平になり、全方位の物体感知等への応用が可能になる。

また、図3 Cは超音波振動子1 2の電極構造の一例を示しており、1 6は電極面上に構成された分割電極部である。図3 Cに示されるよう電極部1 6を分割することにより、振動発生部を制御できることから、円周方向の超音波による走査が可能になり、方向を特定した物体感知などへの応用が可能になる。

電極部の分割は裏表に形成される電極部1 6の少なくとも1面でよく、また、超音波振動子1 2自体を分割して配置することによっても、同様の効果が得られる。図3 Cでは、電極部6の分割数は4であるが、分割数については任意であり、また必ずしも同形、対称形である必要はない。

### （第3実施形態）

図4 A, 4 B及び図5 A, 5 Bを参照しながら、本発明の第3実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器を説明する。図4 Aは、上記第3

実施形態における超音波送受波器 2 1 の外観の斜視図、図 4 B は、円筒形の超音波送受波器 2 1 の中心軸を含む断面を示している。また、図 5 A は、上記第 3 実施形態における別の超音波送受波器 3 1 の外観の斜視図、図 5 B は、円筒形の超音波送受波器 3 1 の中心軸 9 b を含む断面を示している。上記第 3 実施形態と前述の上記第 1 及び第 2 実施形態との間で共通する部材について同様の参照符号を与えており、伝搬媒質部 6 B, 6 C は先の実施形態の伝搬媒質部 6 又は 6 A に対応し、ハウジング 9 B, 9 C は先の実施形態のハウジング 9 又は 9 A に対応する。

以下、上記第 3 実施形態の超音波送受波器 2 1 及び超音波送受波器 3 1 に特徴的な点を説明し、上記第 1 実施形態における超音波送受波器 1 並びに上記第 2 実施形態の超音波送受波器 1 1 と同様の部分及び上記対応部分については説明を省略する。

上記第 3 実施形態の超音波送受波器 2 1 のハウジング 9 B は、図 4 A, 図 4 B に示すように、円筒形状の側部 9 g の下端に端子板 9 x が固定され、側部 9 g の上端に、中央部に円形開口部 2 4 を有する円板状上板 9 h が固定されて、仮想中心軸の周りにハウジング 9 B が軸対称に構成されている。ハウジング 9 B の側部 9 g の内面に固定された超音送振動子 2 2 及び音響整合層 2 3 は円筒形状で構成されている。また、ハウジング 9 B の円板状上板 9 b の中央部開口部 2 4 よりも内向きに伝搬媒質部 6 B が突出しないように、伝搬媒質部 6 B がハウジング 9 B 内に収納配置されて、ハウジング 9 B 全体で第 2 表面領域 8 を保護し、ハウジング 9 B の上板 9 b の中央部開口部 2 4 を通して超音波の送受波を矢印 9 0 B の方向に行う。すなわち、ハウジング 9 B 内に配置された超音送振動子 2 2 及び音響整合層 2 3 及び中央部以外の空間には伝搬媒質部 6 B が満たされている。そして、伝搬媒質部 6 B は、音響整合層 2 3 と超音波振動子 2 2 に對向する（ただし、直接的には音響整合層 2 3 に對向する）第 1 表面領域 7 と、周囲空間を満たす流体に面する（図 4 B では中央部の空間に面する）第 2 表面領域 8 とを有している。さらに、上記伝搬媒質部 6 B の上記第 2 表面領域 8 は、上記第 1 表面領域 7 に対して平行とならないように、中心軸に対して大略均等に上端から下端に向けて広がるように、所定角度だけ傾斜して円錐面を形成している。

一方、図 5 A、図 5 B に示すように、上記第 3 実施形態の別の超音波送受波器 3 1 のハウジング 9 C は、円筒形状の側部 3 5 の下端に端子板 9 x が固定され、端子板 9 x の中央部に固定された中心軸 9 b に円板状上板 9 i の中央部が固定されて、中心軸 9 b の周りにハウジング 9 C が軸対称に構成されている。中心軸 9 b の周りに固定された超音送振動子 3 2 及び音響整合層 3 3 は円筒形状で構成されている。また、ハウジング 9 C の上板 9 i の周囲よりも外向きに伝搬媒質部 6 C が突出しないように、伝搬媒質部 6 C がハウジング 9 C 内に収納配置されて、ハウジング 9 C の端子板 9 x に固定された円筒状の側部である保護部 3 5 で第 2 表面領域 8 を保護し、ハウジング 9 C と保護部 3 5 の間にリング状の開口部 3 4 を設け、開口部 3 4 を通して超音波の送受波を矢印 9 0 C の方向に行う。すなわち、ハウジング 9 C 内に配置された超音送振動子 3 2 及び音響整合層 3 3 及び周囲部以外の空間には伝搬媒質部 6 C が満たされている。そして、伝搬媒質部 6 C は、音響整合層 3 3 と超音波振動子 3 2 に対向する（ただし、直接的には音響整合層 3 3 に対向する）第 1 表面領域 7 と、周囲空間を満たす流体に面する（図 5 B では周囲部の空間に面する）第 2 表面領域 8 とを有している。さらに、上記伝搬媒質部 6 C の上記第 2 表面領域 8 は、上記第 1 表面領域 7 に対して平行とならないように、中心軸に対して大略均等に下端から上端に向けて広がるように、所定角度だけ傾斜して円錐面を形成している。

上記第 3 実施形態において、具体的な超音波の送受波は、上記第 1 実施形態及び上記第 2 実施形態と同様に高効率に行われて、上記第 1 実施形態及び上記第 2 実施形態と同様の効果を奏することができる。上記第 2 実施形態との違いは、超音波送受波器 2 1, 3 1 の正面方向（図 4 B, 図 5 B の上方向）へ超音波の送受波行われる点であり、一般に実現されている超音波送受波器の応用が可能である。

#### （第 4 実施形態）

図 6 A, 図 6 B, 図 6 C, 図 6 D を参照しながら、本発明の第 4 実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器を説明する。図 6 A は、上記第 4 実施形態における超音波送受波器 4 1 及び超音波送受波器 5 1 の外観の斜視図、図 6 B は、円筒形の超音波送受波器 4 1 の中心軸を含む断面図、また、図 6 C は、上記第 4 実施形態における別の円筒形の超音波送受波器 5 1 の中心軸を含む断面

図、図 6 D は上記第 4 実施形態の超音波送受波器の超音波振動子 4 2、5 2 の電極面の一例の斜視図を示している。上記第 4 実施形態と前述の第 1 ～ 3 実施形態との間で共通する部材について同様の参照符号を与えている。なお、伝搬媒質部 6 D、6 E は先の実施形態の伝搬媒質部 6 又は 6 A などに対応し、ハウジング 9 D、9 E は先の実施形態のハウジング 9 又は 9 A などに対応する。

以下、上記第 4 実施形態の超音波送受波器 4 1 及び超音波送受波器 5 1 に特徴的な点を説明し、上記第 1 実施形態における超音波送受波器 1 並びに上記第 2 実施形態の超音波送受波器 1 1、2 1 と同様の部分及び上記対応部分については説明を省略する。

上記第 4 実施形態の超音波送受波器 4 1 のハウジング 9 D は、図 6 A、図 6 B に示すように、円筒形状の側部 9 g の下端に端子板 9 x が固定され、端子板 9 x の中央部に円錐台形状の反射体 4 4 が固定されて、反射体 4 4 の中心軸の周りにハウジング 9 D が軸対称に構成されている。ハウジング 9 D の側部 9 g 及び端子板 9 x の内面に固定された超音波振動子 4 2 及び音響整合層 4 3 は円筒形状であり、超音波振動子 4 2 の内側に音響整合層 4 3 が配置されている。また、ハウジング 9 D の反射体 4 4 の上端面及び側部 9 g の上端面よりも伝搬媒質部 6 D が突出しないように、伝搬媒質部 6 D がハウジング 9 D 内に収納配置されている。そして、伝搬媒質部 6 D は、超音波振動子 4 2 の振動面に平行な第 1 表面領域 7 と、周囲空間を満たす流体と接する第 2 表面領域 8 とを有し、かつ伝搬媒質部 6 D に隣接して設けられた上記反射体 4 4 と第 3 表面領域 4 5 で接している。

反射体 4 4 は、ステンレス材などの金属材料で構成されており、伝搬媒質部 6 を例えばシリカを主成分とするナノ多孔体乾燥ゲルから形成する場合には、第 3 表面領域 4 5 での反射効率ほぼ 1 となる。反射体 4 4 は、第 2 表面領域 8 への超音波の入射角度が式 (3) を満足するように第 1 表面領域 7 及び第 2 表面領域 8 に対して傾斜角が設定されている。

超音波振動子 4 2 は共振周波数付近の振動で励振され、この振動が超音波として音響整合層 4 3 を通して伝搬媒質部 6 D の大略中心側にほぼ効率 1 の条件で放射される。伝搬媒質部 6 D を伝搬した音波は、反射体 4 4 との界面である第 3 表面領域 4 5 でほぼ効率 1 で反射されて、その方向を大略第 2 表面領域 8 側に変え

て伝搬し、伝搬媒質部 6 D と周囲空間を満たす流体との界面である第 2 表面領域 8 で屈折し、ほぼ効率 1 の状態で周囲空間を満たす流体に放射される。

また、周囲空間を満たす流体中を伝搬して超音波送受波器 4 1 に到達する超音波を受波する場合には、送波方向から伝搬してきた超音波に関して送波の場合と逆の経路が成立し、超音波送受波器 4 1 の第 2 表面領域 8 にほぼ効率 1 で入射した超音波は、伝搬媒質部 6 D を伝搬して反射体 4 4 との界面である第 3 表面領域 4 5 でほぼ効率 1 の条件で反射されて、その方向を大略超音波振動子 4 2 側に変えて伝搬し、超音波振動子 4 2 に到達し、超音波振動子 4 2 で電気信号に変換される。

以上の構成により、超音波送受波器 4 1 においても、周囲空間を満たす流体に対して高効率の超音波の送受波が可能となり、上記第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

一方、図 6 A 及び図 6 C に示されるように、上記第 4 実施形態の別の超音波送受波器 5 1 のハウジング 9 E は、断面三角形状でかつ円筒形状の反射体 5 4 の下端に端子板 9 x が固定され、端子板 9 x の中央部に円柱状の中心軸 9 k が固定され、中心軸 9 k の上端に円板状上板 9 m がフランジのように突出して固定されて、反射体 5 4 の中心軸の周りにハウジング 9 E が軸対称に構成されている。ハウジング 9 E の中心軸 9 k 及び上板 9 m 及び端子板 9 x の内面に固定された超音送振動子 5 2 及び音響整合層 5 3 は円筒形状であり、超音波振動子 5 2 の外側に音響整合層 5 3 が配置されている。また、ハウジング 9 E の反射体 5 4 の上端面及び上板 9 m の上端面よりも伝搬媒質部 6 E が突出しないように、伝搬媒質部 6 E がハウジング 9 E 内に収納配置されている。そして、伝搬媒質部 6 E は、超音波振動子 5 2 の振動面に平行な第 1 表面領域 7 と、周囲空間を満たす流体と接する第 2 表面領域 8 とを有し、かつ伝搬媒質部 6 E に隣接して設けられた上記反射体 5 4 と第 3 表面領域 5 5 で接している。反射体 5 4 は反射体 4 4 と同様な材質及び傾斜角度を有するものである。

超音波振動子 5 2 は共振周波数付近の振動で励振され、この振動が超音波として音響整合層 5 3 を通して伝搬媒質部 6 E の大略周囲側にほぼ効率 1 の条件で放射される。伝搬媒質部 6 E を伝搬した超音波は、反射体 5 4 との界面である第 3

表面領域 5 5 でほぼ効率 1 で反射されて、その方向を大略第 2 表面領域 8 側に変えて伝搬し、伝搬媒質部 6 E と周囲空間を満たす流体との界面である第 2 表面領域 8 で屈折し、ほぼ効率 1 の状態で周囲空間を満たす流体に放射される。

また、周囲空間を満たす流体中を伝搬して超音波送受波器 5 1 に到達する超音波を受波する場合には、送波方向から伝搬してきた超音波に関して送波の場合と逆の経路が成立し、超音波送受波器 5 1 の第 2 表面領域 8 にほぼ効率 1 で入射した超音波は、伝搬媒質部 6 E を伝搬して反射体 5 4 との界面である第 3 表面領域 5 5 でほぼ効率 1 の条件で反射されて、その方向を大略超音波振動子 5 2 側に変えて伝搬し、超音波振動子 5 2 に到達し、超音波振動子 5 2 で電気信号に変換される。

以上の構成により、超音波送受波器 5 1 においても、周囲空間を満たす流体に對して高効率の超音波の送受波が可能となり、上記第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

なお、上記第 4 実施形態の反射体 4 4, 5 4 は複数配置してもよく、その場合には、第 3 表面領域 4 5, 5 5 が複数個存在する構成となる。また、この場合には、第 1 表面領域 7 と第 2 表面領域 8 が平行である構成も成立し、複数の第 3 表面領域 4 5, 5 5 の少なくとも 1 つが第 2 表面領域 8 に対して所定の角度に傾斜しておればよい。

超音波送受波器 4 1 及び超音波送受波器 5 1 は、上記第 2 実施形態と同様に中心軸周りの全方位への送受波ができる構造になっており、周囲空間が気体の場合には、送受波はほぼ水平になり、全方位の物体感知等への応用が可能になる。

また、図 6 D は超音波振動子 4 2, 5 2 の電極構造の一例を示しており、4 6 は円筒形の超音波振動子 4 2, 5 2 の内側面に構成された分割電極であり、4 7 は外側面に構成された共通電極である。図 6 D に示されるよう電極部 4 6 を分割することにより、振動発生部を制御できることから円周方向の超音波による走査が可能になり、方向を特定した物体感知などへの応用が可能になる。

図 6 D に示すように電極部 4 6 の分割は内外側面に形成される電極部の少なくとも 1 面でよく、また超音波振動子 4 2, 5 2 自体を分割して配置することによっても同様の効果が得られる。電極の分割数は任意であり、また必ずしも同形、

対称形である必要はない。

(第5実施形態)

図7を参照しながら、本発明の第5実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器を説明する。図7は、上記第5実施形態における超音波送受波器61の外観の斜視図であり、図7の手前側の面Aに関しては、内部構造の説明をするための断面図であり、実際はハウジング側部で覆われている。また、上記第5実施形態と前述の上記第1～4実施形態との間で共通する部材について同様の参照符号を与えていた。なお、伝搬媒質部6Fは第1実施形態の伝搬媒質部6又は6Aなどに対応し、ハウジング9Fは第1実施形態のハウジング9又は9Aなどに対応する。

以下、上記第5実施形態の超音波送受波器61に特徴的な点を説明し、上記第1実施形態における超音波送受波器1、上記第2実施形態の超音波送受波器11、21、上記第3実施形態の超音波送受波器31、並びに上記第4実施形態の超音波送受波器41、51と同様の部分及び上記対応部分については説明を省略する。

上記第5実施形態の超音波送受波器61は、上記第4実施形態における超音波送受波器41、51で円筒あるいは円錐形状であった部分を矩形状にしたものであり、矩形板状の側部69gの下端に矩形板状の端子板69xが固定され、側部69g及び端子板69xの周囲部に三角柱形状の反射体64が固定され、矩形板状の中心軸69kの上端に矩形板状の円板状上板69mがフランジのように突出して固定されて、中心線Cに対して対称に構成されている。各超音送振動子62及び各音響整合層63はそれぞれ矩形板状であり、中心軸69kの内面に固定され、各超音波振動子62の外側に各音響整合層63が配置されている。各伝搬媒質部6Fは、各超音波振動子62の振動面に平行な第1表面領域7と、周囲空間を満たす流体と接する第2表面領域8とを有し、かつ伝搬媒質部6Fに隣接して設けられた反射体64と第3表面領域65で接している。反射体64は反射体44と同様な材質及び傾斜角度を有するものである。

上記第5実施形態の上記第4実施形態との違いは、上記第5実施形態の超音波送受波器61における超音波の送受波は、中心線Cに対して対称に図7の左右方向に行われることであり、この場合も超音波は、それぞれ、音響整合層63を通

して伝搬媒質部 6 F にほぼ効率 1 の条件で放射され、伝搬媒質部 6 F を伝搬した超音波は、反射体 6 4 との界面である第 3 表面領域 6 5 でほぼ効率 1 で反射されて、大略第 2 表面領域 8 側に方向を変える。さらに、伝搬媒質部 6 F と周囲空間を満たす流体との界面である第 2 表面領域 8 で超音波が屈折し、ほぼ効率 1 の状態で周囲空間を満たす流体に放射される。また、送波方向から伝搬してきた超音波に関して、送波の場合と逆の経路が成立し、超音波送受波器 6 1 に第 2 表面領域 8 にほぼ効率 1 で入射した超音波は、伝搬媒質部 6 F を伝搬して反射体 6 4 との界面である第 3 表面領域 6 5 でほぼ効率 1 の条件で反射されて超音波振動子 6 2 に到達し、超音波振動子 6 2 で電気信号に変換される。

以上の構成により、超音波送受波器 6 1 においても、周囲空間を満たす流体に対して高効率の超音波の送受波が可能となり、上記第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。また、超音波送受波器 6 1 は、左右方向への送受波ができる構造になっており、周囲空間が気体の場合には、送受波はほぼ水平になり、左右方向の物体感知等への応用が可能になる。

#### 15 (第 6 実施形態)

図 8 A, 図 8 B を参照しながら、本発明の第 6 実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器を説明する。図 8 A, 図 8 B は、上記第 6 実施形態における超音波送受波器 7 1-1, 7 1-2, 7 1-3, 7 1-4 を複数個配置した場合の斜視図であり、また、上記第 6 実施形態と前述の上記第 1 ~ 5 実施形態との間で共通する部材について同様の参照符号を与えている。なお、伝搬媒質部 6 G は第 1 実施形態の伝搬媒質部 6 又は第 5 実施形態の伝搬媒質部 6 F などに対応し、ハウジング 9 G は第 1 実施形態のハウジング 9 又は第 5 実施形態のハウジング 9 F などに対応し、中心軸 7 9 k は第 5 実施形態の中心軸 6 9 k に対応し、側部 7 9 g は第 5 実施形態の側部 6 9 g に対応し、端子板 7 9 x は第 5 実施形態の端子板 6 9 x に対応し、反射体 7 4 は第 5 実施形態の反射体 6 4 に対応し、上板 7 9 m は第 5 実施形態の上板 6 9 m に対応する。

以下、上記第 6 実施形態の超音波送受波器 7 1-1, 7 1-2, 7 1-3, 7 1-4 に特徴的な点を説明し、他の実施形態と同様の部分及び上記対応部分については説明を省略する。

上記第6実施形態の各超音波送受波器71-1, 71-2, 71-3, 71-4は、上記第5実施形態における超音波送受波器61を中心線C上で分割した構造である。したがって、超音波の送受波は一方向だけに制限されるが、超音波の送受信は上記第5実施形態と同様に高効率で行われ、上記第1実施形態と同様の効果を奏することができる。周囲空間が気体の場合には、送受波はほぼ水平になり、物体感知等への応用が可能になる。

図8Aは、超音波送受波器71-1, 71-2, 71-3, 71-4を4個用いて、前後左右に超音波を送受波できる構成であり、図8Bは超音波送受波器71-1, 71-2, 71-3を3個用いて、120度間隔に3方向に送受波できる構成である。図8A, 図8Bのように、複数の超音波送受波器71を任意の数、任意の方向に配置することにより、アプリケーションに対応した指向性の制御が可能になり、応用範囲を広げることができる。

#### (第7実施形態)

図9A, 9B, 9Cを参照しながら、本発明の第7実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器の応用機器について説明する。図9Aは掃除ロボットなどの自走型ロボットの障害物検知システム、図9Bは自動車の周囲障害物検知システム、また、図9Cは超音波流量計への適用した場合を示している。

図9A, 9B, 9Cにおいて、81, 81A, 81B, 81C, 81D, 81Eは本発明の第7実施形態において、特に、上記第1実施形態、上記第2実施形態、上記第4実施形態、上記第5実施形態、上記第6実施形態のいずれかに示したほぼ水平方向に超音波の送受波を行うことができる超音波送受波器を示している。82, 82A, 82B, 82C, 82D, 82Eは超音波送受波器81, 81A, 81B, 81C, 81D, 81Eが送受波する超音波の指向特性領域、83は自走型ロボット、84A, 84B, 84C, 84D, 84Eは障害物、85は自動車、86は計測用流路である。

図9Aにおいて、超音波送受波器81Aは、自走型ロボット83の筐体部の頂点付近に、筐体部の面と第2表面領域8とがほぼ面一に配置されている。本発明の第7実施形態の超音波送受波器81Aによれば、超音波の送受波の指向特性領域82Aは図9Aに示されるとおり、床面88Aとほぼ水平(平行)にすること

ができ、かつ円周方向の走査が可能である。したがって、超音波送受波器 81A を筐体部周囲に分散して配置することなく、また、筐体部に超音波送受波器 81A を周囲に向けるための特別な機構系を設けることなく、自走型ロボット 83 の全周方向の障害物を検知することができる。

5 図 9Bにおいて、超音波送受波器 81D, 81E, 81B, 81C は、自動車 85 のボディ前後端のバンパー部の下面、及びボディの屋根の前後端に近い部分の壁面に、特別な突起を設けることなく、ほぼ面一に配置されている。図 9A と同様に、送受波される超音波の指向特性領域 82D, 82E, 82B, 82C は、地上面 88B に対してほぼ水平（平行）にできる。したがって、図 9B に示されるように、自動車 85 の前後の死角に存在する地上の障害物 84D, 84E や、ガードや看板などの屋根に対する障害物 84B, 84C などの検知が可能になり、また、特に屋根部に超音波送受波器のための突起部等を設けることなく実現できるため、デザイン等の自由度を損なうことがない。

10 図 9Cにおいて、超音波送受波器 81 は、計測用流路 86 の内壁面に対して面一に配置されている。送受波される超音波の指向性領域 82 はほぼ流路に平行で、対面する超音波送受波器 81 との間で超音波の送受波が行われる。この場合に、超音波送受波器 81 を正対させる必要がないため、通常の流路内に凹部あるいは凸部を設ける必要がなく、流路内での流体の移動状態を定常的に保ち精度の高い流量計測が可能である。これについては、以下、第 8 実施形態として詳細に説明する。なお、超音波振動子 81 を駆動するための送信回路 701 と、他方の超音波振動子 81 により受信した超音波を增幅、帯域制限等を行う受信回路 702 と、送受信の方向を変えるための切り替え回路 703 と、受信回路 702 からの出力をもとに伝搬時間を計測する時間計測部 704 と、上記時間計測部 704 からの出力値をもとに流量を求める流量演算部 705 と、流量演算部 705 で演算された流量等を表示する表示部 706 と、計測のタイミング等を制御する制御部 707 を備えている。よって、一方の超音波振動子 81 から他方の超音波振動子 81 に向けて超音波を送信し、ガスなどの被測定流体を通過した超音波が上記他方の超音波振動子 81 で受信されることにより、時間計測部 704 で超音波振動子 81、81 間の伝搬時間を計測する。次いで、逆に、上記他方の超音波振動子 8

1 から上記一方の超音波振動子 8 1 に向けて超音波を送信し、ガスなどの被測定流体を通過した超音波が上記一方の超音波振動子 8 1 で受信されることにより、時間計測部 7 0 4 で超音波振動子 8 1 、 8 1 間の伝搬時間を計測する。このように所定回数だけ、上記一対の超音波振動子 8 1 、 8 1 間で超音波の伝搬時間を計測し、流量演算部 7 0 5 でその値を基に、ガスなどの被測定流体の流量を流量演算部 7 0 5 により算出するようにしている。よって、各超音波振動子 8 1 、 8 1 は送受信を行えるようにしている。ここで、上記送信回路 7 0 1 ～制御部 7 0 7 とより流量算出システムを構成している。

(第 8 実施形態)

10 図 1 2 A ～図 1 7 を参照しながら、本発明の第 8 実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波送受波器の応用機器の一例である、超音波により流体の流量を計測する超音波流量計について説明する。

まず、第 8 実施形態の超音波流量計について説明する前に、従来の超音波流量計について説明する。

15 近年、所定の伝搬路を超音波が伝達する時間を計測することにより、流体の移動速度を測定し、その測定値から流量を計測する超音波流量計がガスマータや化学反応の制御等に利用されつつある。

以下、図 1 7 を参照しながら、従来の超音波流量計の測定原理を説明する。図 1 7 に示されている超音波流量計では、管内の流体が速度  $V$  にて図 1 7 中の矢印  $V$  で示す方向に流れている。超音波流量計の管壁 4 0 3 には、一対の超音波送受波器 4 0 1 及び 4 0 2 が相対して設置されている。超音波送受波器 4 0 1 及び 4 0 2 の各々は、電気エネルギーを機械エネルギーに変換するとともに、機械エネルギーを電気エネルギーに変化する変換素子（トランスデューサ）を備えている。この変換素子は、例えば、圧電セラミック等の圧電振動子で構成され、圧電ブザーや圧電発振子と同様に共振特性を示す。

20 25 まず、超音波送受波器 4 0 1 を超音波の送波器として用い、超音波送受波器 4 0 2 を超音波の受波器として用いる場合について、超音波流量計の動作を説明する。

超音波送受波器 4 0 1 の共振周波数近傍における周波数を持つ交流電圧を超音

波送受波器 401 の圧電振動子に印加すると、超音波送受波器 401 は管内の流体中に超音波を放射する。この超音波は、伝搬経路 L1 に沿って伝搬し、超音波送受波器 402 に到達する。超音波送受波器 402 の圧電振動子は、この超音波を受けて電圧信号を出力する。

5 この後、超音波送受波器 402 を超音波の送波器として動作させる。具体的には、超音波送受波器 402 の共振周波数近傍における周波数を持つ交流電圧を超音波送受波器 402 の圧電振動子に印加することにより、超音波送受波器 402 は管内の流体中に超音波を放射する。超音波は伝搬経路 L2 に沿って伝搬し、超音波送受波器 401 に到達する。超音波送受波器 401 の圧電振動子は、この超音波を受けて電圧信号を出力する。

10 このように、超音波送受波器 401 及び 402 は、それぞれ、1 つの超音波振動子でありながら、受波器としての機能と送波器としての機能を果たすことができる。この超音波流量計では、連続的に交流電圧を印加すると超音波送受波器から連続的に超音波が放射されて伝搬時間を測定することが困難になるので、通常 15 はパルス信号を搬送波とするバースト電圧信号を駆動電圧として用いる。

駆動用のバースト電圧信号を超音波送受波器 401 に印加して超音波送受波器 401 から超音波バースト信号を放射すると、この超音波バースト信号は距離が L の伝搬経路 L1 を伝搬して t 時間後に超音波送受波器 402 に到達する。

20 超音波送受波器 402 では伝達して来た超音波バースト信号のみを高い S/N 比で電気バースト信号に変換することができる。この電気バースト信号をトリガとして、再び超音波送受波器 401 に駆動用バースト電圧信号を印加して超音波バースト信号を放射する。

25 このような装置を「シング・アラウンド装置」と呼ぶ。また、超音波パルスが超音波送受波器 401 から超音波送受波器 402 に到達するまでに要する時間を「シング・アラウンド周期」といい、その逆数を「シング・アラウンド周波数」という。

図 17 の超音波流量計において、管の中を流れる流体の流速を V、流体中の超音波の速度を C、流体の流れる方向と超音波パルスの伝搬方向の角度を  $\theta$  とする。更に、超音波送受波器 401 を送波器、超音波送受波器 402 を受波器として用

いたとき、超音波送受波器 401 から出た超音波パルスが超音波送受波器 402 に到達する時間（シング・アラウンド周期）を  $t_1$ 、シング・アラウンド周波数  $f_1$  とする。このとき、次式（4）が成立する。

$$f_1 = 1 / t_1 = (C + V \cos \theta) / L \quad \dots \quad (4)$$

5 逆に、超音波送受波器 402 を送波器として、超音波送受波器 401 を受波器として用いたときのシング・アラウンド周期を  $t_2$ 、シング・アラウンド周波数  $f_2$  とすれば、次式（5）の関係が成立する。

$$f_2 = 1 / t_2 = (C - V \cos \theta) / L \quad \dots \quad (5)$$

10 上記式（4）及び式（5）に基づいて、両シング・アラウンド周波数の周波数差  $\Delta f$  は、次式（6）で示される。

$$\Delta f = f_1 - f_2 = 2V \cos \theta / L \quad \dots \quad (6)$$

式（6）からわかるように、超音波の伝搬経路の距離  $L$  及び周波数差  $\Delta f$  から、流体の流速  $V$  を求めることができる。そして、流速  $V$  から流量を決定することができる。

15 図 17 の超音波流量計では、超音波送受波器の圧電振動子における超音波の送受波面に整合層（不図示）が設けられている。これは、測定対象となる流体と圧電素子との間にある固有音響インピーダンス（以下、「音響インピーダンス」と称する）の差異を中間的な音響インピーダンスを持つ層（整合層）で緩和し、異なる音響インピーダンスを持つ媒質間の界面における超音波の反射を抑制するためである。超音波の伝搬経路中に音響インピーダンスの差が大きな界面が存在すると、超音波送受波器から出た超音波が測定対象の流体中に充分に進入しないという不都合が生じ、流量の測定が不能になるか、又は、測定精度が大きく低下してしまうことになる。従って、このような不都合を避け、超音波流量計の測定精度を向上させるためには、整合層の音響インピーダンスを適切に設定することが重要となる。なお、音響インピーダンスは、一般に、次式（7）で定義される。

$$\text{音響インピーダンス} = (\text{密度}) \times (\text{音速}) \quad \dots \quad (7)$$

超音波振動を発生する圧電振動子の音響インピーダンスは、例えば、 $30 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  程度であり、空気の音響インピーダンスは  $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  程度である。空気の流速を測定する場合、整合層の音響イン

ピーダンスは  $0.11 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  程度に設定されることが好ましい。

従来、圧電振動子及び空気の中間的な音響インピーダンスを持つ整合層を形成するため、密度が比較的小さな材料（例えばガラスバルーンやプラスチックバルーン）を樹脂で固めた材料が使用されている。

しかしながら、上記のような整合層を用いても、圧電振動子から空気などの気体中に超音波を伝搬させる場合には、どうしても伝搬損失が生じ、測定感度が低下するという問題があった。超音波を固体から気体へ効率よく伝搬させることが難しい理由は、固体の音響インピーダンスに比べて気体の音響インピーダンスが格段に小さく、中間に整合層を介在させても界面で超音波の強い反射が生じてしまうためである。

また、図17に示すタイプの超音波流量計では、超音波送受波器を配置するための空洞部が流量測定部の流路内部に必要であり、この空洞部の存在が被測定流体の流れの乱れの原因となる場合がある。また、微量化学分析のためには、流量自体が極微量となるため、流路を微細化する必要がある。そのような場合、従来の構成では、超音波送受波器を流路内に配置できないため、極少量の流量測定には適用できないという問題があった。

本発明の第8実施形態は、上記問題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、流量計測部である流路内部の流れを乱すことなく、極少量の流量計測にも対応できる高感度な超音波流量計を提供することを目的とするものである。

本発明の第8実施形態による超音波流量計は、被測定流体の流路を規定する内壁を有する流量測定部と、上記流量測定部の内壁に囲まれた流路空間の外側に設けられ、超音波の送信及び／又は受信を行う少なくとも1つの超音波振動子と、上記超音波振動子と上記流路空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部とを備えた超音波流量計であって、上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速  $C_1$ 、上記被測定流体の密度  $\rho_2$ 、及び上記被測定流体における音速  $C_2$  が、 $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1$  の関係を満足するように構成する。

好ましい実施形態において、上記超音波振動子の数は複数であり、上記複数の超音波振動子のうちの第1の超音波振動子は、上記複数の超音波振動子のうちの第2の超音波振動子に対して超音波を出射するように配置され、上記第2の超音波振動子は、上記第1の超音波振動子に対して超音波を出射するように配置され5 ている。

好ましい実施形態において、上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域と、上記流路空間に対向する第2表面領域とを有しており、上記伝搬媒質部の上記第2表面領域は、上記第1表面領域に対して傾斜している。

好ましい実施形態において、上記伝搬媒質部の第1表面領域は、上記流路空間内における上記被測定流体の流速方向に対して傾斜し、上記第2表面領域は、上記流路空間内における上記被測定流体の流速方向に対して平行である。

好ましい実施形態において、上記伝搬媒質部の第2表面領域は、上記流量測定部の上記内壁との間で段差を実質的に形成していない。

好ましい実施形態において、上記伝搬媒質部の密度 $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部と上記被測定流体との界面への超音波の入射角 $\theta_1$ 、上記被測定流体の密度 $\rho_2$ 、及び、上記界面から上記被測定流体への上記超音波の進入角 $\theta_2$ が、 $\rho_2/\rho_1 = c \cot \theta_2 / \cot \theta_1$ の関係をほぼ満足するように構成している。

好ましい実施形態において、上記被測定流体は、密度 $\rho_2$ が $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 以下の気体である。

好ましい実施形態において、上記伝搬媒質部は、無機酸化物又は有機高分子の乾燥ゲルから形成されている。

好ましい実施形態において、上記乾燥ゲルの固体骨格部は疎水化されている。

好ましい実施形態において、上記乾燥ゲルの密度は、 $500 \text{ kg/m}^3$ 以下であり、上記乾燥ゲルの平均細孔直径は、 $100 \text{ nm}$ 以下である。

好ましい実施形態において、上記超音波振動子と上記伝搬媒質部との間に設けられ、上記超音波振動子と上記伝搬媒質部とを音響的に整合させる整合層を有している。

好ましい実施形態において、上記被測定流体の流速方向に垂直な方向に測定し

た上記流速測定部における流路空間のサイズは、上記超音波の中心周波数における上記被測定流体中の波長の1/2以下である。

好ましい実施形態において、上記超音波振動子は、収束音場を形成するように構成されている。

5 好ましい実施形態において、上記伝搬媒質部の第1表面領域は、レンズ面を形成するように湾曲している。

本発明による超音波流量計は、ガスの流路を規定する内壁を有する流量測定部と、上記流量測定部の内壁に囲まれた流路空間の外側に設けられ、超音波の送信及び／又は受信を行う一対の超音波振動子と、上記一対の超音波振動子の各々と上記流路空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を屈折させる一対の伝搬媒質部とを備え、上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域と、上記流路空間に対向する第2表面領域とを有しており、上記伝搬媒質部の第1表面領域は、上記流路空間内における上記ガスの流速方向に対して傾斜し、上記第2表面領域は、上記流路空間内における上記ガスの流速方向に対してほぼ平行である。

本発明者は、超音波送受波器において、適切な材料からなる伝搬媒質部を用いて超音波を適切に屈折させれば、界面における損失をほとんど発生させることなく、固体から流体（特に気体）へ超音波を伝搬させることができることを見出しつて、本発明を想到するに至った。

20 本発明の第8実施形態にかかる超音波送受波器では、被測定流体の流れ方向に対して傾斜した面（第1表面領域）と、被測定流体の流れ方向にほぼ平行な面（第2表面領域）とを有する伝搬媒質部を超音波振動子と被測定流体との間に配置する。伝搬媒質部の第2表面領域は、好ましくは、流体の流れを搅乱しないように流体の流路を規定する面に整合させられている。

25 以下、図面を参照しながら、本発明の第8実施形態を説明する。

まず、図12A及び12Bを参照しながら、本発明の第8実施形態による超音波流量計を説明する。図12Aは、上記第8実施形態における超音波流量計310の長手方向に沿った断面を示し、図12Bは、超音波流量計310の長手方向と図12AのB-B線で直交する断面を示している。

図示されている超音波流量計 310 は、被測定流体の流路を規定する内壁 340 を有する管状の流量測定部 304 と、流量測定部 304 の内壁 340 に囲まれた流路空間 309 の外側に設けられ、超音波の送信及び／又は受信を行う一対の超音波送受波器（超音波振動子）301a 及び 301b と、超音波送受波器 301a 及び 301b と流路空間 309 との間に配置され、超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部 303a、303b とを備えている。被測定流体は、流量測定部 304 の内壁 340 に囲まれた流路空間 309 の内部を矢印 305 の方向に流れるものとする。この超音波送受波器（超音波振動子）301a 及び 301b は、上記第 1 実施形態～上記第 6 実施形態のいずれかの超音波送受波器である。伝搬媒質部 303a、303b は、伝搬媒質部 6, 6A, 6B, 6C, 6D, 6E, 6F, 6G に対応する。なお、簡略化のため、ケーシングについては図示を省略している。

上記第 8 実施形態では、超音波送受波器 301a の超音波放射面が被測定流体の流れ方向 305 に対して傾斜しており、超音波送受波器 301a から出た超音波は、流量測定部 304 の内壁に対して斜めに入射する。そして、超音波は、伝搬媒質部 303a と被測定流体との界面で屈折し、伝搬経路 306 を通って一方の超音波送受波器 301b で受け取られる。

上記第 8 実施形態における流路空間 309 の断面（流れ方向 305 に垂直な断面）は、図 12B に示されるように矩形である。上記第 8 実施形態の流量測定部 304 は、部品 304a 及び 304b をシール材 304c によって固定することによって作製される。なお、流路空間 306 の形状は、図示されているものに限定されず、他の形状（例えば円形）であってもよい。

伝搬媒質部 303a、303b は、超音波送受波器 301a 及び 301b の超音波振動面に対向する第 1 表面領域 331 と、流路空間 309 に対向する第 2 表面領域 332 とを有している。上記第 8 実施形態では、伝搬媒質部 303a、303b の密度を  $\rho_1$ 、伝搬媒質部 303a、303b の音速を  $C_1$ 、被測定流体の密度を  $\rho_2$ 、被測定流体の音速を  $C_2$  としたとき、以下の式（8）に示す関係が満足されるように、伝搬媒質部 303a、303b の材料を選択している。

$$(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1 \quad \dots \dots \dots (8)$$

5 気体の流量を測定対象とする場合、上記条件を満足する材料を見つけることは難しい。その理由は、気体の音速 $C_2$ よりも音速 $C_1$ が小さな固体材料が少ないからである。上記第8実施形態では、上記条件を満足する伝搬媒質部303a、303bを実現するため、無機酸化物又は有機高分子の乾燥ゲルから伝搬媒質部303a、303bを形成している。上記第8実施形態で用いる乾燥ゲルの固体骨格部は疎水化されており、その密度は $500\text{ kg/m}^3$ 以下である。この乾燥ゲルは、平均細孔直径が $100\text{ nm}$ 以下のナノ多孔体乾燥ゲル（ナノ多孔質乾燥ゲル）である。

10 なお、無機酸化物の乾燥ゲルの固体骨格部は、少なくとも酸化ケイ素（シリカ）又は酸化アルミニウム（アルミナ）を成分とすることが好ましい。また、有機高分子の乾燥ゲルの固体骨格部は、一般的な熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂により構成することができる。例えば、ポリウレタン、ポリウレア、フェノール硬化樹脂、ポリアクリルアミド、又は、ポリメタクリル酸メチルなどを用いることができる。

15 伝搬媒質部303a、303bを、例えばシリカを主成分とするナノ多孔体乾燥ゲルから形成する場合、その密度 $\rho_1$ が $200\text{ kg/m}^3$ であれば、音速 $C_1$ を $100\text{ m/s}$ から $180\text{ m/s}$ 程度の範囲に設定することができる。非測定流体が空気である場合、空気の密度 $\rho_2$ は $1.22\text{ kg/m}^3$ 、音速 $C_2$ は $340\text{ m/s}$ であるので、上記の伝搬媒質部303a、303bを採用することにより、 $\rho_2 < \rho_1$ 、及び、 $C_1 < C_2$ の関係を同時に満足させ、かつ、 $(\rho_2/\rho_1) < (C_1/C_2)$ の関係を満足させることができる。天然ガスなどの気体流量を測定する場合、伝搬媒質部303a、303bとしては、密度 $\rho_1$ が $100\sim300\text{ kg/m}^3$ 、音速 $C_1$ が $100\sim300\text{ m/s}$ の範囲にあることが好ましい。

20 25 超音波送受波器301a、301bは、超音波振動子として機能する圧電体を有しており、超音波の送信及び／又は受信を行うことができる。圧電体としては、圧電セラミックスが好適に用いられる。

なお、上記第8実施形態の超音波流量測定装置310では、伝搬媒質部303aと超音波送受波器301aとの間に整合層302aを設け、伝搬媒質部303bと超音波送受波器301bとの間に整合層302bを設けている。整合層30

2 a、302 bは、超音波送受波器301 a、301 bの超音波発生源である圧電セラミックス（音響インピーダンス： $30 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）と伝搬媒質部303 a、303 bとの間における音響的整合を高める機能を有している。

5 シリカを主成分とするナノ多孔体乾燥ゲル（音響インピーダンス  $3 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）から伝搬媒質部303 a、303 bを形成する場合、音響インピーダンスが  $1 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  付近の材料から作製した整合層302 a、302 bを採用することにより、超音波エネルギーの伝搬効率をほぼ1、具体的には0.95以上とすることができます。このような材料は、中空ガラス球を樹脂材料で固めた複合材料で実現できる。整合層302 a、302 bの厚さは、使用する超音波の  $1/4$  波長に設定することが好ましい。

10 次に、図13を参照しながら、超音波が伝搬媒質部303 aから被測定流体中に伝搬する様子を詳細に説明する。

15 前述した配置関係から、超音波は、伝搬媒質部303 aと被測定流体との界面Sの法線方向から傾斜した方向に沿って界面Sに入射する。界面との法線方向に対する超音波の入射角を  $\theta_1$  とする ( $0^\circ < \theta_1 < 90^\circ$ )。このとき、超音波は伝搬媒質部303 aと被測定流体との界面Sで屈折し、界面Sの法線方向に対する角度（進入角）  $\theta_2$  で被測定流体に進入することになる ( $\theta_1 < \theta_2$ )。

20 上記第8実施形態では、被測定流体の  $\rho_2$  が与えられたとき、以下の式(9)の関係をほぼ満足するように各種のパラメータ ( $\rho_1$ 、 $\theta_1$ 、及び  $\theta_2$ ) が設定されている。

$$(\rho_2 / \rho_1) = (\cot \theta_2 / \cot \theta_1) \quad \dots \dots \dots (9)$$

25 このような設定により、超音波エネルギーの伝搬媒質部303 aから被測定流体への伝搬効率は、ほぼ1になる。このとき、入射角  $\theta_1$  は次式(10)で表される条件を満足する。

$$\begin{aligned} & (\cot \theta_1)^2 \\ &= [(c_1 / c_2)^2 - 1] / [( \rho_2 / \rho_1)^2 - (c_1 / c_2)^2] \quad \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

従って、伝搬媒質部303 aの  $\rho_1$ 、 $c_1$ 、及び被測定流体の  $\rho_2$ 、 $c_2$  が定ま

ったならば、入射角  $\theta_1$  は式 (10) によって決定される。また、入射角  $\theta_1$  が決まれば、式 (9) によって進入角  $\theta_2$  も決定される。

入射角  $\theta_1$  及び進入角  $\theta_2$  が定まると、伝搬媒質部 303a の第 1 表面領域 3 31 の傾斜角度や 2 つの超音波送受波器 301a、301b の間隔なども決定で  
5 きる。

以上のこととは、超音波を受け取る場合にも、そのまま適用される。

上記第 8 実施形態では、前述した材料から伝搬媒質部 303a、303b を形成することにより、伝搬媒質部 303a、303b の音速  $C_1$  を  $180 \text{ m/s}$ 、密度  $\rho_1$  を  $200 \text{ kg/m}^3$  に設定することができる。空気の流量を測定する場合、被測定流体（空気）の密度  $\rho_2$  は  $1.22 \text{ kg/m}^3$ 、音速  $C_2$  は  $340 \text{ m/s}$  であるので、式 (9) 及び式 (10) の関係から、入射角  $\theta_1$  は  $32^\circ$ 、進入角  $\theta_2$  は  $89^\circ$  に設定すればよい。進入角  $\theta_2$  は  $90^\circ$  に近いため、被測定流体中の超音波は、流れ方向 305 とほぼ平行な方向に伝搬することになる。

上記第 8 実施形態における流量測定部 304 の内壁 340 に囲まれた流路空間 309 のサイズ H（図 12A 参照）は、被測定流体における超音波の  $1/2$  波長以下、理想的には  $1/4$  波長以下に設定することが好ましい。流路空間 309 のサイズをこのような大きさに設定することにより、流路空間 309 での音波反射による伝搬モードの出現を抑制し、時間計測の制度を上げることができる。例えば、用いる超音波の波長  $\lambda$  が  $4 \text{ mm}$  程度である場合、流路空間 309 のサイズ H は  $2 \text{ mm}$  程度に設定され得る。この場合、計測対象の最低流速が  $1 \text{ mm/s}$ 、伝搬時間の計測制度が  $1 \text{ n s}$ （ナノセカンド）であるとすると、超音波送受波器 301a 及び 301b の横方向の間隔は  $120 \text{ mm}$  程度に設定され得る。

上記第 8 実施形態によれば、伝搬媒質部 303a、303b と被測定流体との界面 S で伝搬損失がほとんど生じないため、この界面 S において双方の音響インピーダンスを整合させる必要はない。

なお、伝搬媒質部 303a、303b は、密度  $\rho_1$  及び音速  $C_1$  が全体に渡つて均質な材料から構成されている必要はなく、密度  $\rho_1$  及び音速  $C_1$  が異なる複数種類の材料層が重ねられた積層構造を有しても良い。このような積層構造を有している場合、超音波は伝搬媒質部 303a、303b 中を直進しない場合が

あるが、特に問題はない。重要な点は、伝搬媒質部 303a、303b と被測定流体との界面近傍領域において、前述の式を満足するように伝搬媒質部 303a、303b の密度  $\rho_1$  及び音速  $C$  並びに入射角  $\theta_1$  が設定されることにある。

また、図 12A に示されるように、超音波流量測定装置 310 は、超音波振動子 81 を駆動するための送信回路 701 と、他方の超音波振動子 81 により受信した超音波を増幅、帯域制限等を行う受信回路 702 と、送受信の方向を変えるための切り替え回路 703 と、受信回路 702 からの出力をもとに伝搬時間を計測する時間計測部 704 と、上記時間計測部 704 からの出力値をもとに流量を求める流量演算部 705 と、流量演算部 705 で演算された流量等を表示する表示部 706 と、計測のタイミング等を制御する制御部 707 とを備えている。よって、一方の超音波振動子 301a 又は 301b から他方の超音波振動子 301b 又は 301a に向けて超音波を送信し、ガスなどの被測定流体を通過した超音波が上記他方の超音波振動子 301b で受信されることにより、時間計測部 704 で超音波振動子 301a 又は 301b 間の伝搬時間を計測する。次いで、逆に、上記他方の超音波振動子 301b から上記一方の超音波振動子 301a に向けて超音波を送信し、ガスなどの被測定流体を通過した超音波が上記一方の超音波振動子 301a 又は 301b で受信されることにより、時間計測部 704 で超音波振動子 301a, 301b 間の伝搬時間を計測する。このように所定回数だけ、上記一対の超音波振動子 301a, 301b 間で超音波の伝搬時間を計測し、流量演算部 705 でその値を基に、ガスなどの被測定流体の流量を流量演算部 705 により算出するようにしている。よって、各超音波振動子 301a, 301b は送受信を行えるようにしている。ここで、上記送信回路 701～制御部 707 とより流量算出システムを構成している。

次に、上記第 8 実施形態における超音波流量計の動作を説明する。

まず、図 12B の駆動回路を兼ねる送信回路 701 から超音波送波器 301a に対して、共振周波数近傍（例えば 100 kHz～1 MHz 程度）の周波数を持つ交流電圧が印加される。これにより、超音波送受波器 301a は、整合層 302a を通して伝搬媒質部 303a にほぼ効率 1 の条件で超音波を放射する。

伝搬媒質部 303a を伝搬した音波は、伝搬媒質部 303a と流路空間 309

との界面で屈折し、ほぼ効率 1 の状態で流路空間 309 内に放射され、被測定流体の内部を伝搬する。その後、超音波は、対向する側に設けられた伝搬媒質部 303b 及び整合層 302b を通って超音波送受波器 301b に到達する。超音波送受波器 301b は、受け取った超音波を電圧に変換し、電圧信号（電気信号）を生成する。この電気信号に基づいて超音波の伝搬時間が流量演算部 705 で計測され、流速から流量に換算される方法は、従来技術と同様である。駆動回路の構成例は、特開 2000-298045 号公報及び特開 2000-298047 号公報に記載されている。

上記第 8 実施形態によれば、適切な密度  $\rho_1$  及び音速  $C_1$  を示す伝搬媒質部 303a、303b を設け、超音波を適切な角度に屈折させるため、物質の界面における伝搬損失をほぼ 0 にし、良好な S/N 比で流量測定を達成することができる。そして、上記第 8 実施形態によれば、従来の超音波流量計では測定が極めて困難であった気体（例えば水素ガスなど）の流量を容易に測定することが可能になる。

更に、上記第 8 実施形態によれば、流量計測部 304 の流路空間 309 の内部に、流れを乱す大きな凹凸や段差が存在せず、極めて安定した流量測定が可能になる。また、超音波送受波器が流路空間 309 の外側に配置されているため、超音波送受波器のサイズによらず、流路空間 309 のサイズを任意に設計できる。その結果、流路空間 309 のサイズを小さくして極少量の流量計測を行うことが可能になる。

#### （第 9 実施形態）

図 14 を参照しながら、本発明の第 9 実施形態にかかる超音波センサの一例としての超音波流量計を説明する。図 14 は、上記第 9 実施形態における超音波流量計 320 の長手方向に沿った断面を示している。上記第 9 実施形態と前述の上記第 8 実施形態との間で共通する部材について同様の参照符号を与えている。

以下、上記第 9 実施形態の超音波流量計 320 に特徴的な点を説明し、上記第 8 実施形態における超音波流量計 310 と同様の部分については説明を省略する。

上記第 9 実施形態の超音波流量計 320 では、超音波送受波器 301a、301b が收束音場を形成するように構成されている。具体的には、伝搬媒質部 308

a、308bの第1表面領域がレンズ面を形成するように湾曲している。これに伴って、整合層308における被測定流体側の表面が凹面型になっている。このような構成により、超音波送受波器301aから送波された超音波は伝搬媒質部308a内で収束することになる。この収束効果により、同一性能の超音波振動子を用いて、より大きな音圧で超音波の送受波が可能になるため、S/N比を更に向上させることができる。

以上説明してきた上記第8、9実施形態では、いずれも、伝搬媒質部の第1表面領域331は、流路空間309における被測定流体の流速方向305に対して傾斜し、第2表面領域332は、流路空間309における被測定流体の流速方向305に対して平行であるが、本発明は、このような構成に限定されるわけではない。例えば、図15Aに示すように、伝搬媒質部303a、303bの第2表面領域332が流路空間309における被測定流体の流速方向305に対して傾斜するような構成を採用しても良い。このような構成によれば、2つの超音波送受波器の間隔を短縮することができる。ただし、図15Aの構成では、流量測定部304の内壁340と伝搬媒質部303a、303bの第2表面領域332との間に段差が形成されている。この段差を低減又は解消するためには、例えば、図15Bや図15Cに示すように流量測定部304の内壁340の一部に傾斜面を形成し、その傾斜面を伝搬媒質部303a、303bの第2表面領域332と整合させればよい。

伝搬媒質部303a、303bの第2表面領域332は、流量測定部304の内壁340との間で段差を実質的に形成していないことが好ましいが、流れの乱れが大きな問題にならない場合は、図16A、16Bに示すような段差又は凹凸が存在しても良い。

上記いずれの上記第8、9実施形態でも、一対の超音波送受波器の構成を実質的に同一なものとし、180°の回転対称な配置構成を採用しているが、本発明は、このような構成に限定されない。一対の超音波送受波器の一方については、上記第8、9実施形態における構成を適用し、他方の超音波送受波器については、異なる構成（例えば図15A～15Cに示す構成）を与えてよい。また、上記第8、9実施形態では、超音波振動子を超音波送受波器として用いることより、

超音波の送信だけではなく受信をも同じ超音波振動子によって行っているが、本発明の上記第8、9実施形態はこのような構成に限定されない。送波用及び受波用として、別々の超音波振動子を用いても良い。

本発明の上記第8、9実施形態によれば、被測定流量中へ超音波を伝播する際の損失をほぼゼロに低減することができるため、気体を含む種々の流体の流量を高感度で測定することができる。

また、本発明の上記第8、9実施形態によれば、流路内部に段差や凹凸を設ける必要がなくなるので、被測定流体の流れを乱すことなく、極少量の流量計測にも対応できる。

本発明によれば、超音波の送信及び／又は受信を行う超音波送振動子と、超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部とを備え、伝搬媒質部の密度 $\rho_1$ 及び音速 $C_1$ 、並びに周囲空間を満たす流体の密度 $\rho_2$ 及び音速 $C_2$ の相互関係が適切に設定され、かつ超音波を適切な角度に屈折させることにより、周囲空間を満たす流体へ超音波を放射する際の損失をほぼゼロに低減でき、また／あるいは周囲空間を満たす流体から超音波の入射を受ける際の損失をほぼゼロに低減することができるため、気体を含む種々の流体に対して高効率な送受波が可能となる。また、流体が気体の場合には、超音波送受波器の送受波面に対してほぼ水平（平行）に送受波が可能であり、各種の応用展開に利用できる。

なお、上記様々な実施形態のうちの任意の実施形態を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようにすることができる。

本発明は、添付図面を参照しながら好ましい実施形態に関連して充分に記載されているが、この技術の熟練した人々にとっては種々の変形や修正は明白である。そのような変形や修正は、添付した請求の範囲による本発明の範囲から外れない限りにおいて、その中に含まれると理解されるべきである。

## 請求の範囲

1. 流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

5 超音波振動子（2, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72）と、  
上記超音波振動子と上記周囲空間との間に充填されて上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部（6, 6A, 6B, 6C, 6D, 6E, 6F, 6G）  
とを備える超音波センサ。

10 2. 流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子（2, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72）と、  
上記超音波振動子と上記周囲空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部（6, 6A, 6B, 6C, 6D, 6E, 6F, 6G）とを備え、

15 上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速  $C_1$ 、上記空間を満たす流体の密度  $\rho_2$ 、及び上記空間を満たす流体における音速  $C_2$ が、 $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1$  の関係を満足するように構成する超音波センサ。

20 3. 上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域（7）と、上記周囲空間を満たす流れに対向する第2表面領域（8）とを有しており、上記伝搬媒質部の上記第2表面領域は、上記第1表面領域に対して傾斜している請求項2に記載の超音波センサ。

4. 流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

超音波振動子（42, 52, 62, 72）と、

25 上記超音波振動子と上記周囲空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部（6D, 6E, 6F, 6G）と、

上記伝搬媒質部に接して配置され上記超音波の伝搬経路を制御する反射体（44, 54, 64, 74）とを備え、

上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速  $C_1$ 、上記空間を満

たす流体の密度  $\rho_2$ 、及び上記空間を満たす流体における音速  $C_2$  が、  $(\rho_2 / \rho_1) < (C_1 / C_2) < 1$  の関係を満足するように構成する超音波センサ。

5. 上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域（7）と、上記周囲空間を満たす流れに対向する第2表面領域（8）と、上記超音波の伝搬経路の上記第1表面領域と上記第2表面領域との間に配置され、上記反射体と接する少なくとも1つの第3表面領域（45, 55）を有しており、上記伝搬媒質部の上記第2表面領域は、上記第1表面領域及び上記第3表面領域のうち少なくとも1つの領域に対して傾斜している請求項4に記載の超音波センサ。

10. 上記伝搬媒質部の密度  $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部と上記周囲空間を満たす流体との界面への超音波の入射角  $\theta_1$ 、上記周囲空間を満たす流体の密度  $\rho_2$ 、及び、上記界面から上記周囲空間を満たす流体への上記超音波の進入角  $\theta_2$  が、  $\rho_2 / \rho_1 = \cot \theta_2 / \cot \theta_1$  の関係をほぼ満足するように構成する請求項1～5いずれか1つに記載の超音波センサ。

15. 上記伝搬媒質部は、無機酸化物又は有機高分子の乾燥ゲルから形成されている請求項1～5のいずれか1つに記載の超音波センサ。

8. 上記乾燥ゲルの固体骨格部は疎水化されている請求項6に記載の超音波送センサ。

20. 上記乾燥ゲルの密度は、 $500 \text{ kg/m}^3$  以下であり、上記乾燥ゲルの平均細孔直径は、 $100 \text{ nm}$  以下である請求項7に記載の超音波センサ。

10. 上記超音波振動子と上記伝搬媒質部との間に設けられ、上記超音波振動子と上記伝搬媒質部とを音響的に整合させる音響整合層（3, 13, 23, 33, 43, 53, 63, 73）を有している請求項1～5のいずれか1つに記載の超音波センサ。

25. 11. 上記周囲空間を満たす流体は、密度  $\rho_2$  が  $10 \text{ kg/m}^3$  以下の気体である請求項1～5のいずれか1つに記載の超音波センサ。

12. 上記超音波の送波又は受波方向が、上記第2表面領域にほぼ平行である請求項1～5のいずれか1つに記載の超音波センサ。

13. 被測定流体の流路を規定する内壁を有する流量測定部（304）と、

上記流量測定部の内壁（340）に囲まれた流路空間（309）の外側に設けられ、超音波の送信又は受信を行う少なくとも1つの超音波振動子（301a, 301b）と、

上記超音波振動子と上記流路空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部（303a, 303b）と、  
5 を備えた超音波流量計であって、

上記伝搬媒質部の密度 $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部における音速 $C_1$ 、上記被測定流体の密度 $\rho_2$ 、及び上記被測定流体における音速 $C_2$ が、 $(\rho_2/\rho_1) < (C_1/C_2) < 1$ の関係を満足するように構成する超音波流量計。

10 14. 上記超音波振動子の数は複数であり、

上記複数の超音波振動子のうちの第1の超音波振動子は、上記複数の超音波振動子のうちの第2の超音波振動子に対して超音波を出射するように配置され、

上記第2の超音波振動子は、上記第1の超音波振動子に対して超音波を出射するように配置されている、請求項13に記載の超音波流量計。

15 15. 上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域（331）と、上記流路空間に対向する第2表面領域（332）とを有しており、

上記伝搬媒質部の上記第2表面領域は、上記第1表面領域に対して傾斜している請求項13又は14に記載の超音波流量計。

20 16. 上記伝搬媒質部の第1表面領域は、上記流路空間内における上記被測定流体の流速方向に対して傾斜し、上記第2表面領域は、上記流路空間内における上記被測定流体の流速方向に対して平行である請求項15に記載の超音波流量計。

17. 上記伝搬媒質部の第2表面領域は、上記流量測定部の上記内壁との間で段差を実質的に形成していない、請求項15又は16に記載の超音波流量計。

18. 上記伝搬媒質部の密度 $\rho_1$ 、上記伝搬媒質部と上記被測定流体との界面への超音波の入射角 $\theta_1$ 、上記被測定流体の密度 $\rho_2$ 、及び、上記界面から上記被測定流体への上記超音波の進入角 $\theta_2$ が、

$\rho_2/\rho_1 = \cot\theta_2/\cot\theta_1$ の関係をほぼ満足するように構成する請求項

13～16のいずれかに記載の超音波流量計。

19. 上記被測定流体は、密度  $\rho_2$  が  $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  以下の気体である請求項 13～16のいずれかに記載の超音波流量計。

20. 上記伝搬媒質部は、無機酸化物又は有機高分子の乾燥ゲルから形成されている請求項 13～16のいずれかに記載の超音波流量計。

21. 上記乾燥ゲルの固体骨格部は疎水化されている請求項 20 に記載の超音波流量計。

22. 上記乾燥ゲルの密度は、 $500 \text{ kg} / \text{m}^3$  以下であり、

上記乾燥ゲルの平均細孔直径は、 $100 \text{ nm}$  以下である請求項 21 に記載の超音波流量計。

23. 上記超音波振動子と上記伝搬媒質部との間に設けられ、上記超音波振動子と上記伝搬媒質部とを音響的に整合させる整合層を有している請求項 13～16のいずれかに記載の超音波流量計。

24. 上記被測定流体の流速方向に垂直な方向に測定した、上記流速測定部における流路空間のサイズは、上記超音波の中心周波数における上記被測定流体中の波長の  $1/2$  以下である請求項 13～16のいずれかに記載の超音波流量計。

25. 上記超音波振動子は、収束音場を形成する請求項 13～16のいずれかに記載の超音波流量計。

26. 上記伝搬媒質部 (308a, 308b) の第1表面領域は、レンズ面を形成するように湾曲している請求項 24 に記載の超音波流量計。

27. ガスの流路を規定する内壁を有する流量測定部 (304) と、上記流量測定部の内壁 (340) に囲まれた流路空間 (309) の外側に設けられ、超音波の送信又は受信を行う一対の超音波振動子 (301a, 301b) と、

上記一対の超音波振動子の各々と上記流路空間との間に配置され、上記超音波の伝搬経路を屈折させる一対の伝搬媒質部 (303a, 303b) と、を備え、

上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域 (331) と、上記流路空間に対向する第2表面領域 (332) とを有しており、

上記伝搬媒質部の第1表面領域は、上記流路空間内における上記ガスの流速方向に対して傾斜し、上記第2表面領域は、上記流路空間内における上記ガスの流速方向に対してほぼ平行である超音波流量計。

28. 請求項13～16のいずれかに記載の超音波流量計と、

5 上記超音波流量計に被測定流体を供給する管（304）と、

上記超音波流量計によって測定された流量を表示する表示部（703）と、

を備えた装置。

29. 流体で満たされた周囲空間に対して超音波の送信又は受信を行う超音波センサであって、

10 超音波振動子（2, 12, 22, 32, 42, 52, 62, 72）と、

上記超音波振動子と上記周囲空間との間の空間に充填されて上記超音波の伝搬経路を形成する伝搬媒質部（6, 6A, 6B, 6C, 6D, 6E, 6F, 6G）とを備え、

15 上記伝搬媒質部は、上記超音波振動子の超音波振動面に対向する第1表面領域（7）と、上記周囲空間を満たす流れに対向する第2表面領域（8）とを有しており、上記伝搬媒質部の上記第2表面領域は、上記第1表面領域に対して傾斜している超音波センサ。

1 / 14

図 1 A

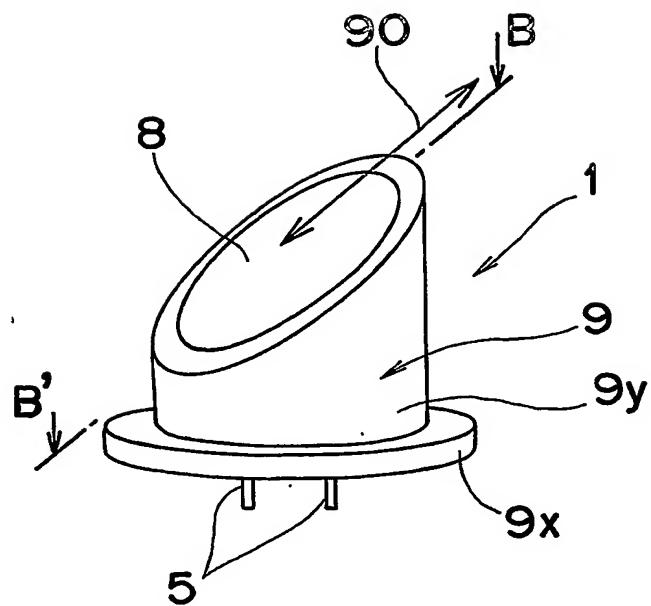
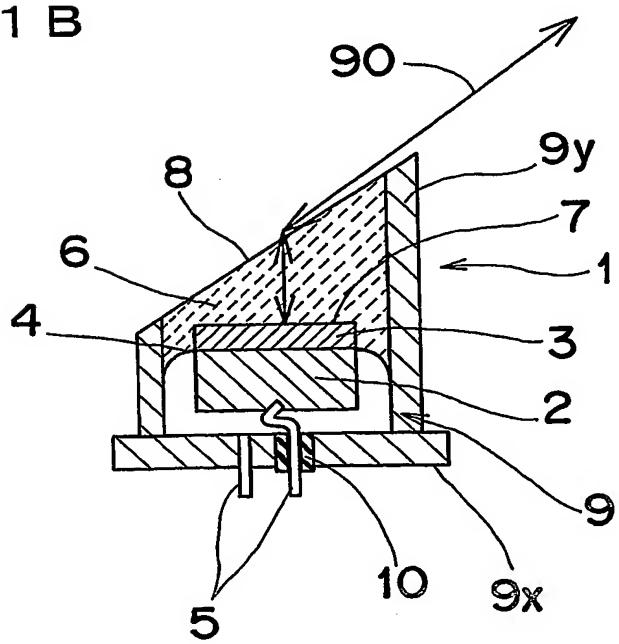
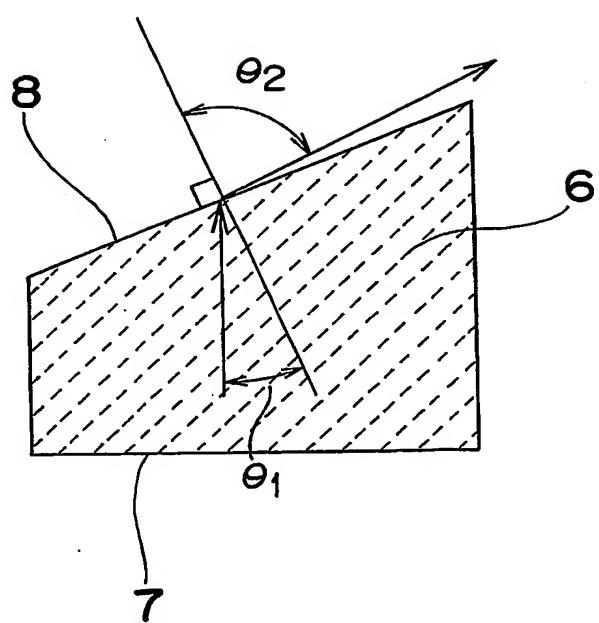


図 1 B



2/14

図 2



3/14

図 3 A

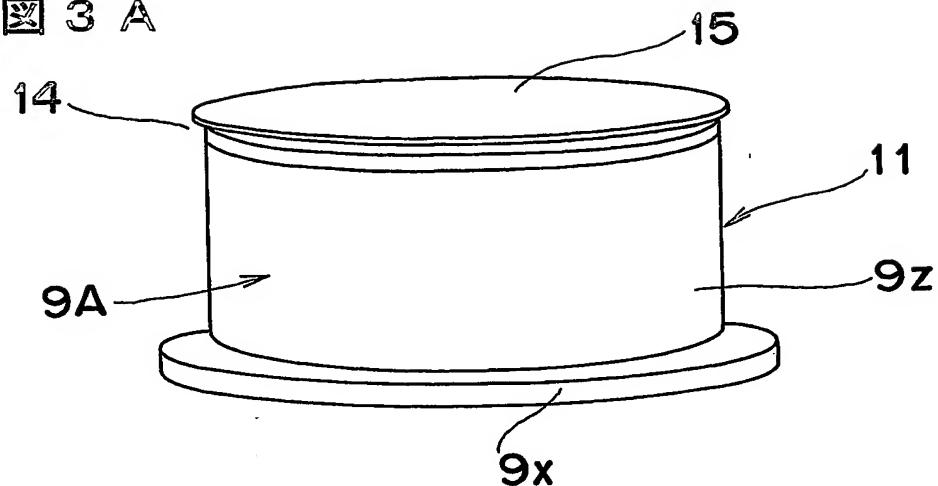


図 3 B

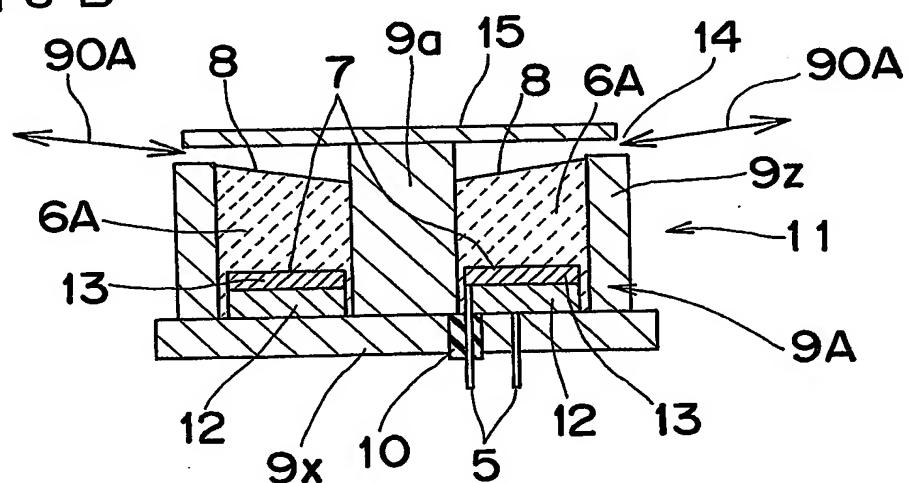
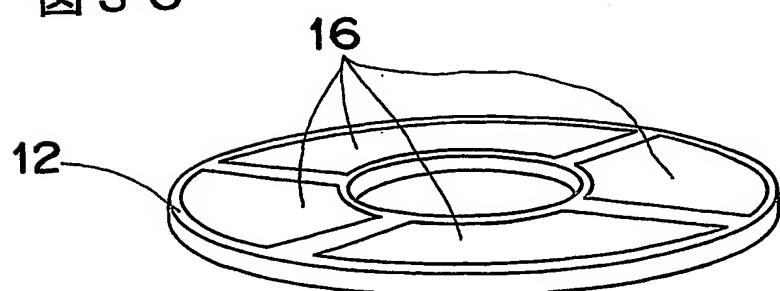
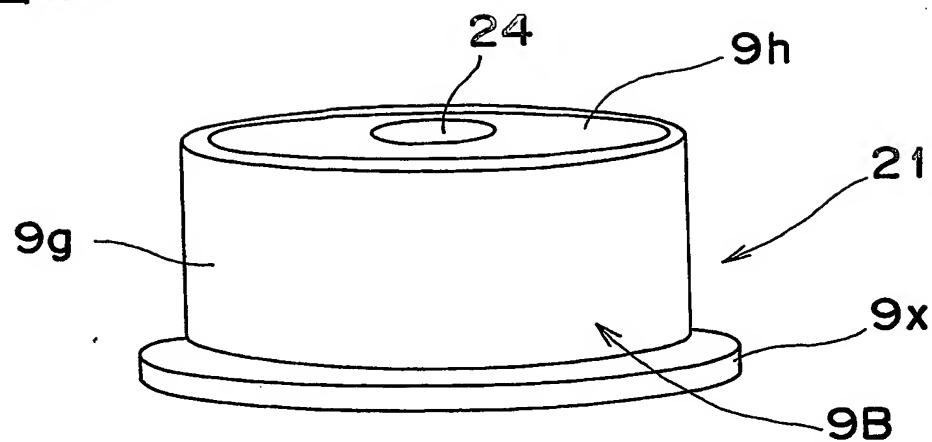


図 3 C

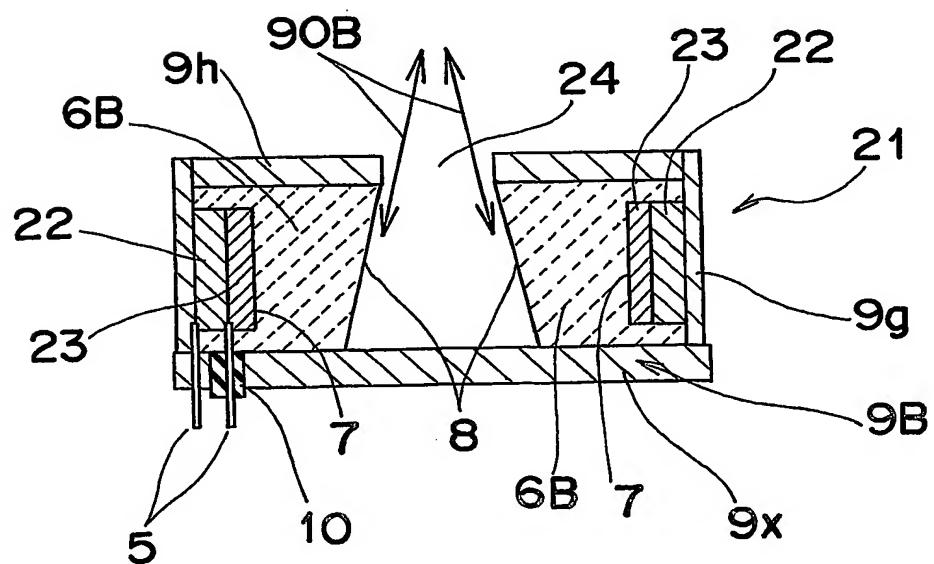


4 / 14

四 4 A



义 4 B



5 / 14

図 5 A

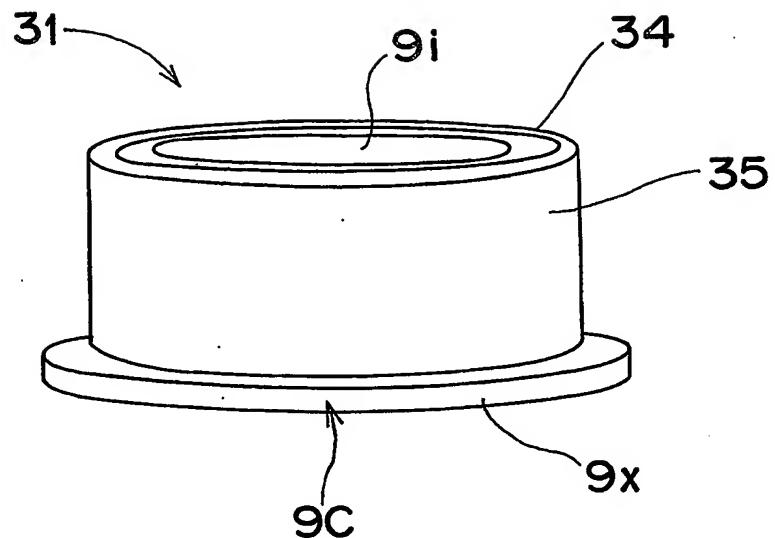
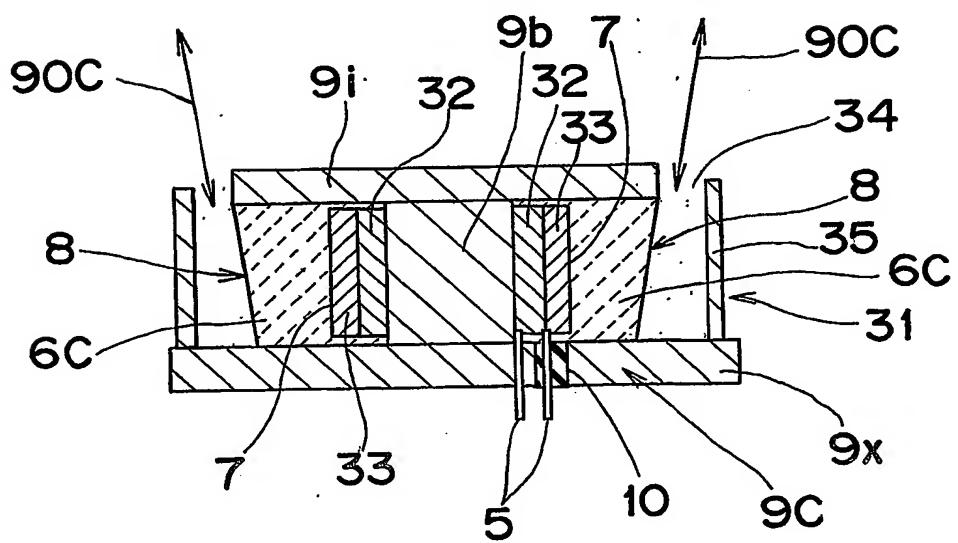


図 5 B



6/14

図 6 A

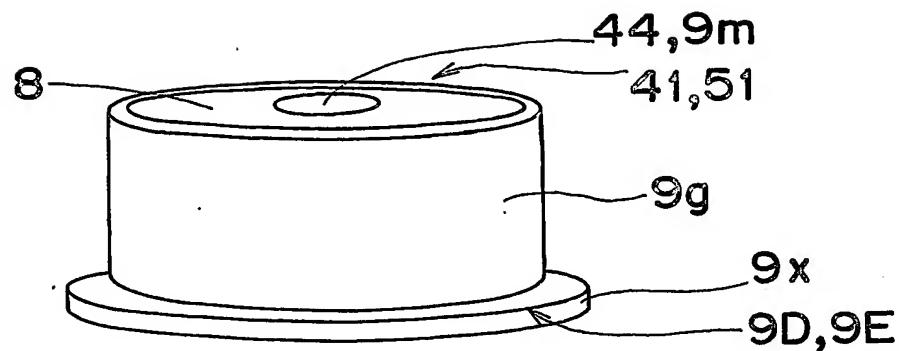


図 6 B

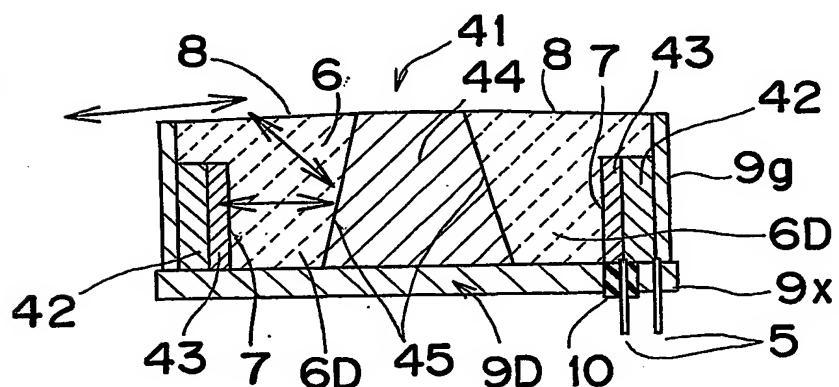


図 6 C

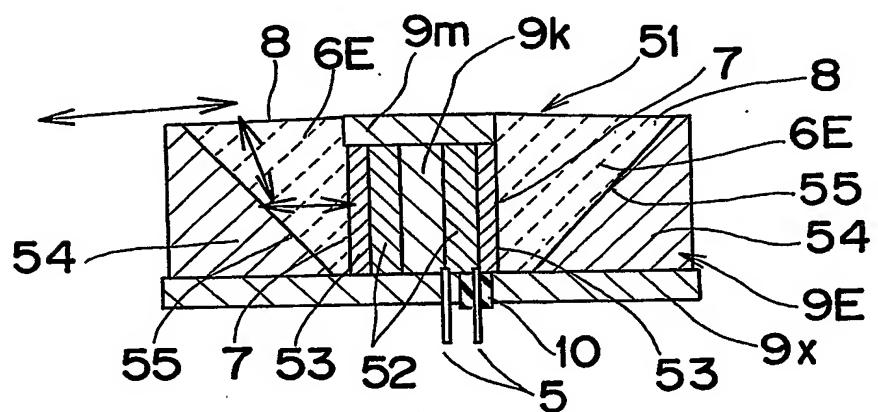
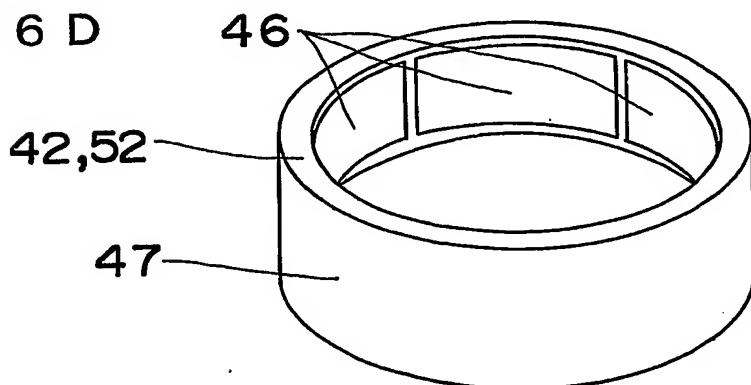
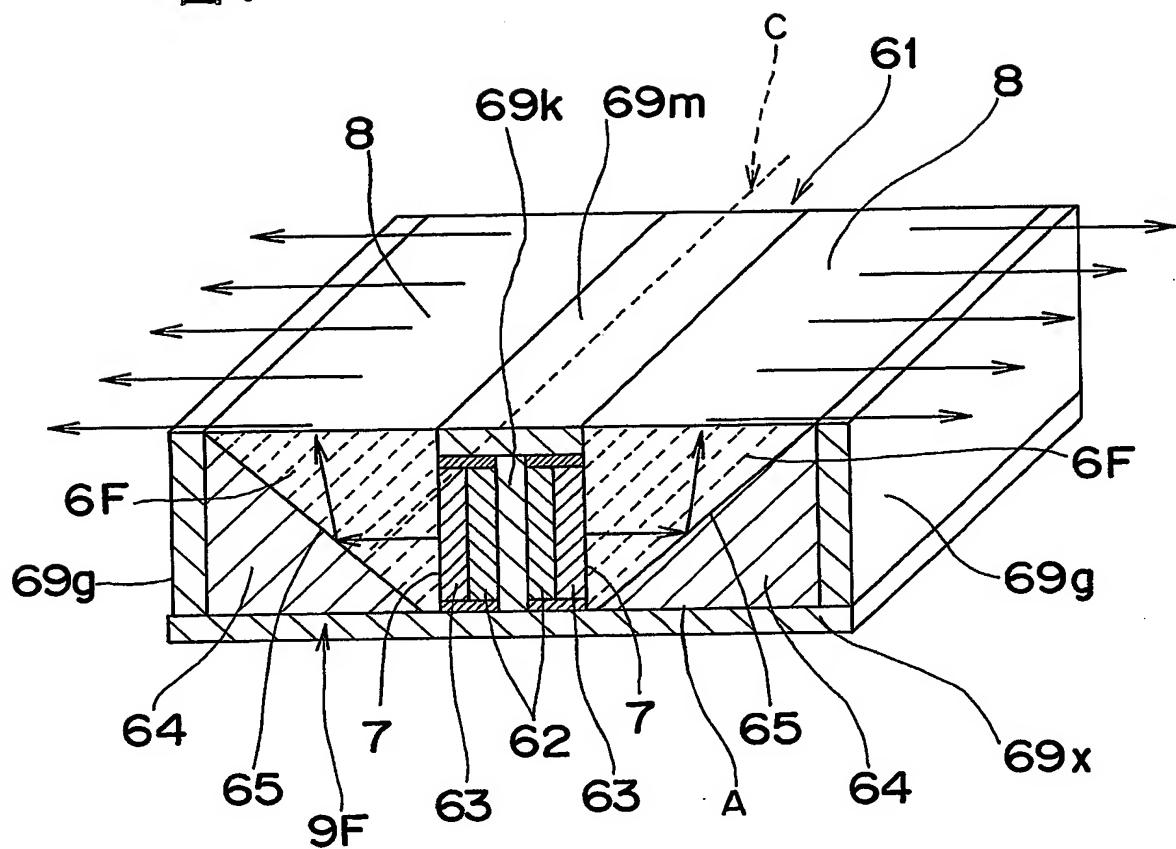


図 6 D



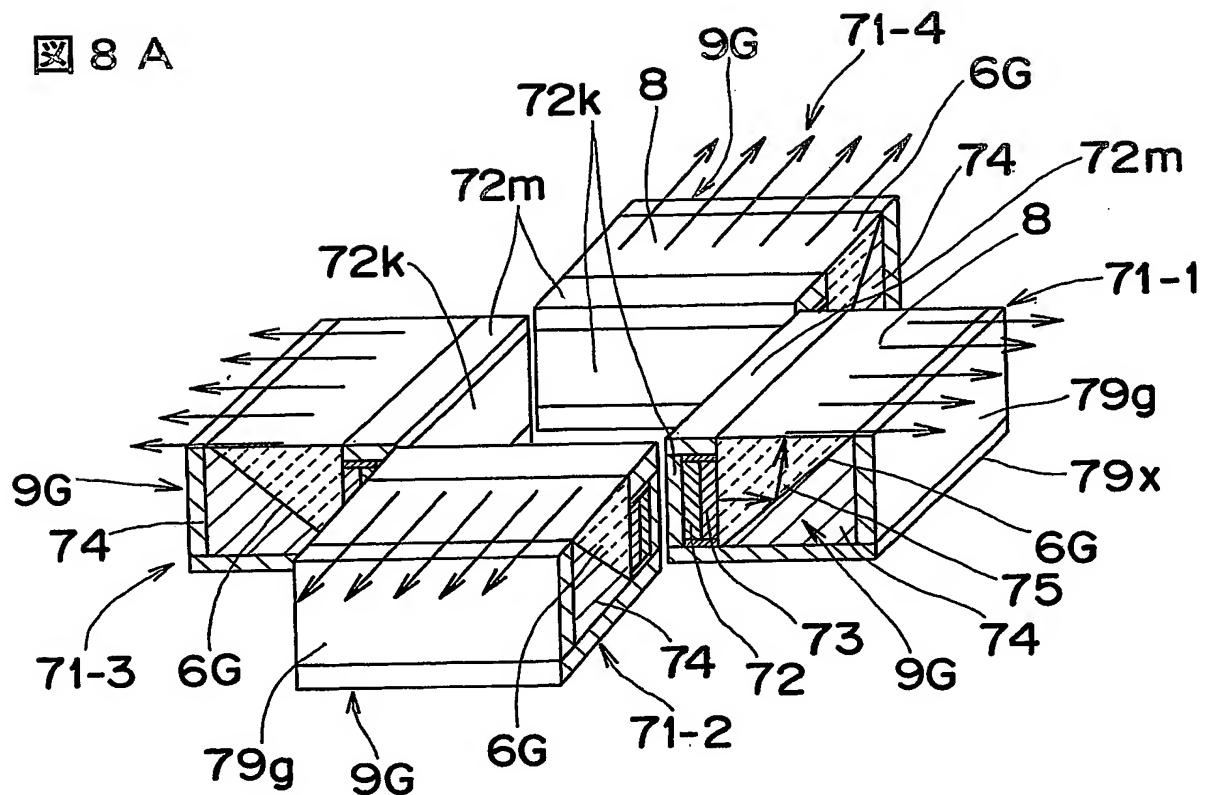
7/14

図 7

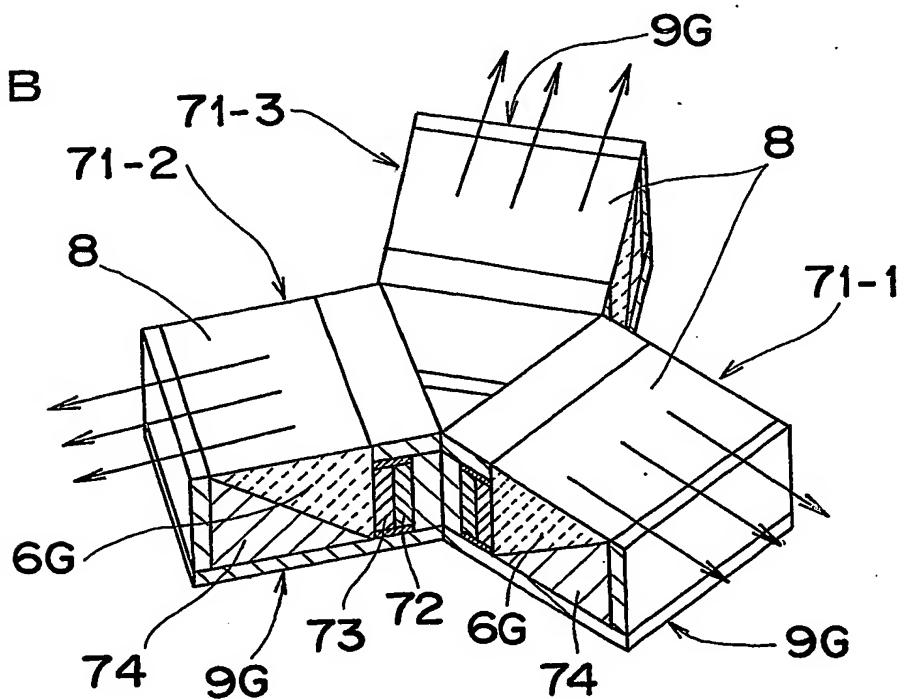


8 / 14

8 A



四 8 B



9/14

図 9 A

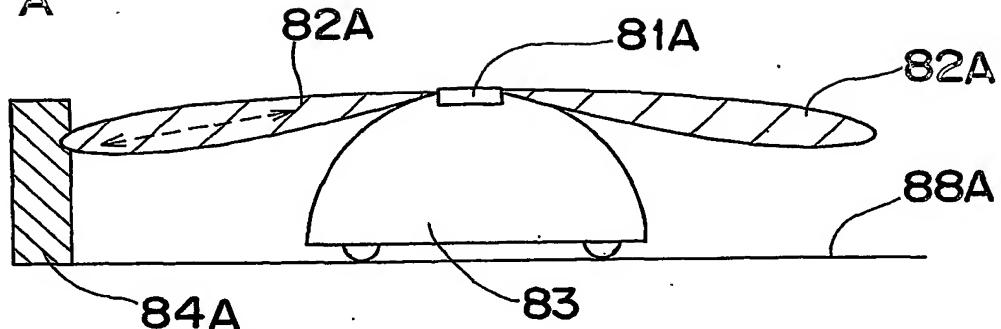


図 9 B

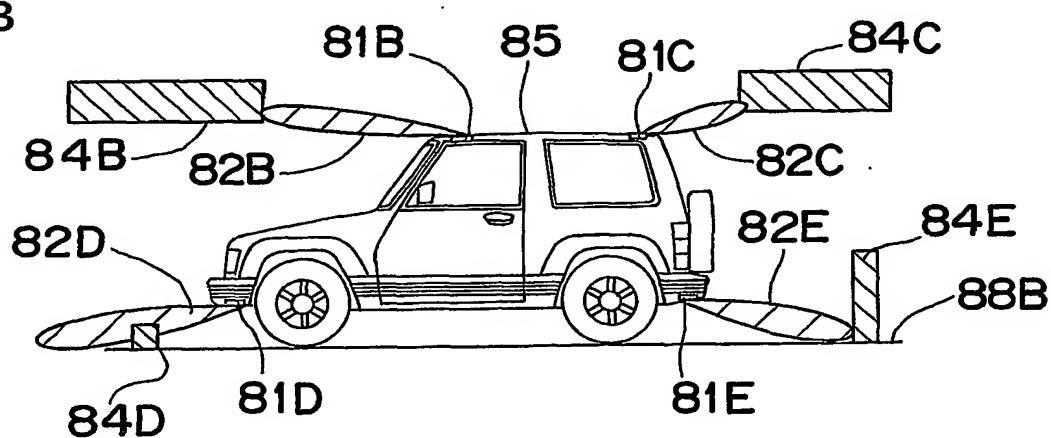
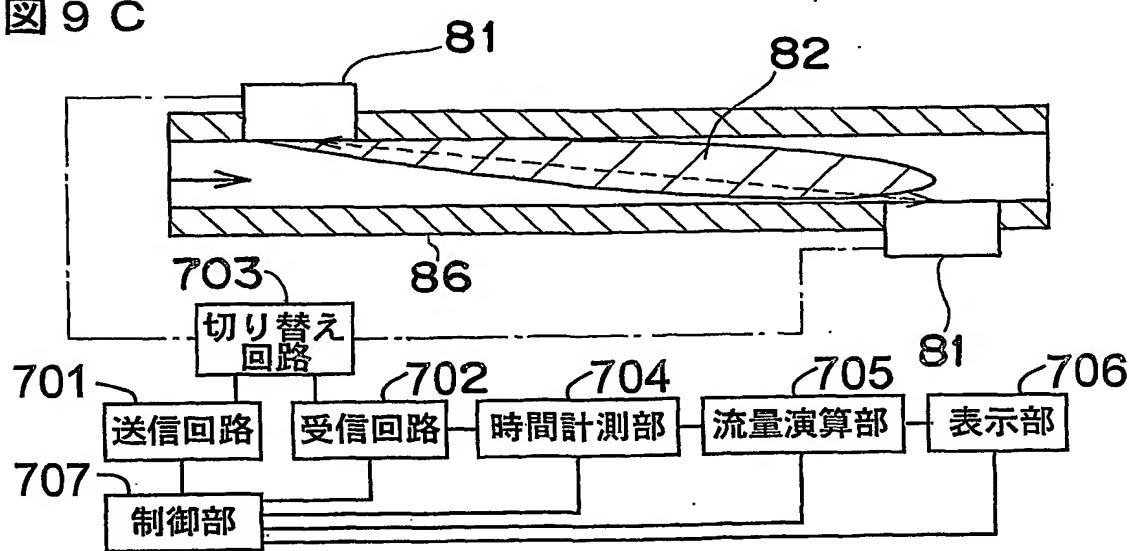


図 9 C



10/14

図 10

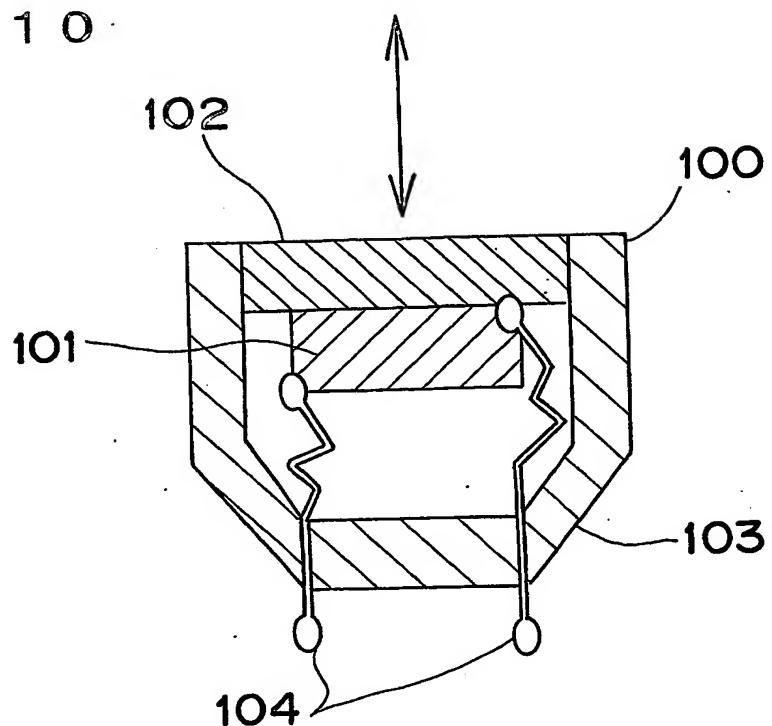
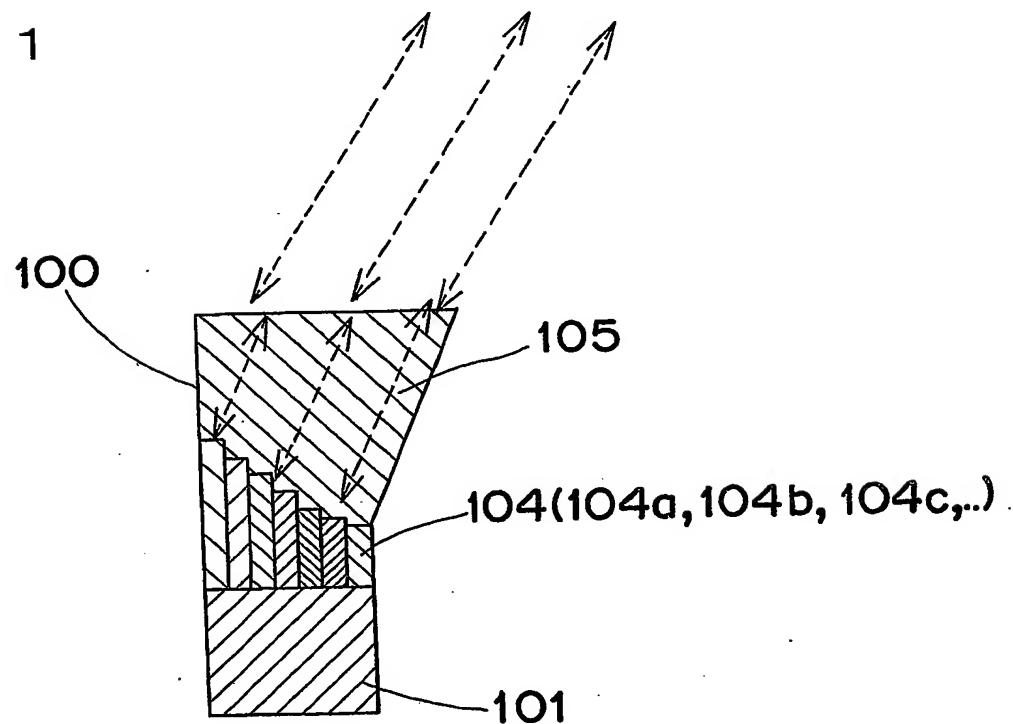


図 11



11/14

図 12 A

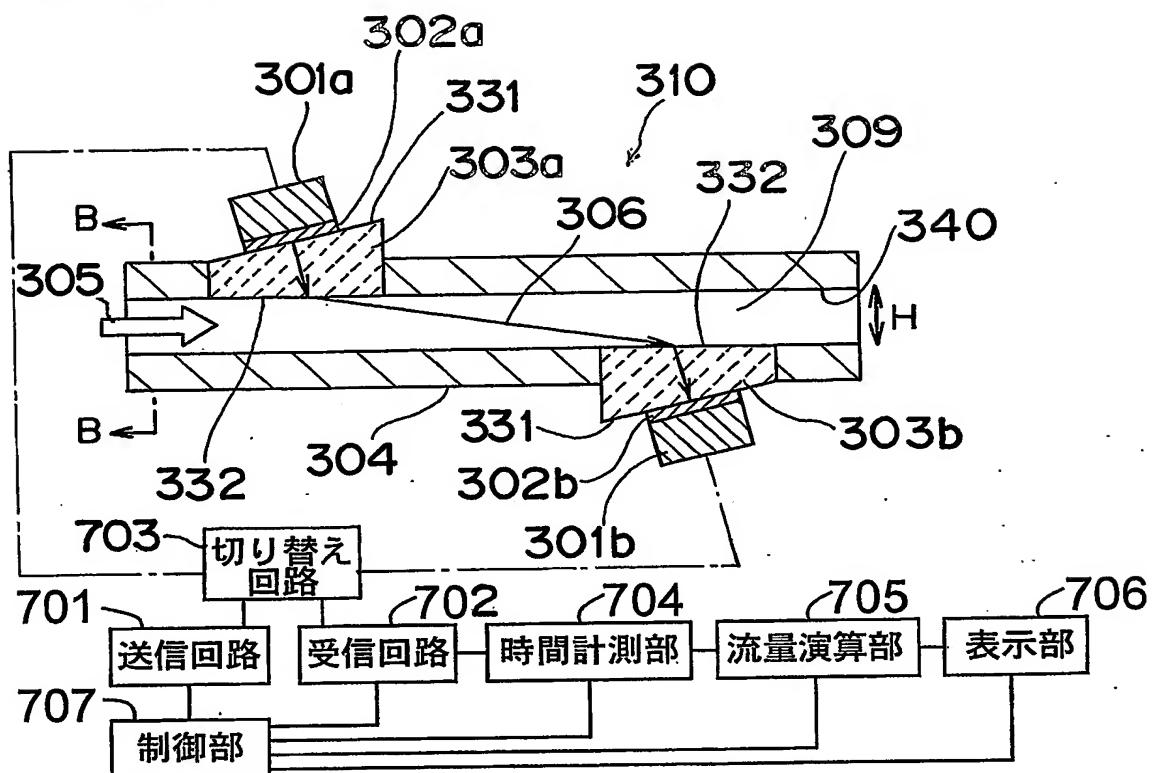
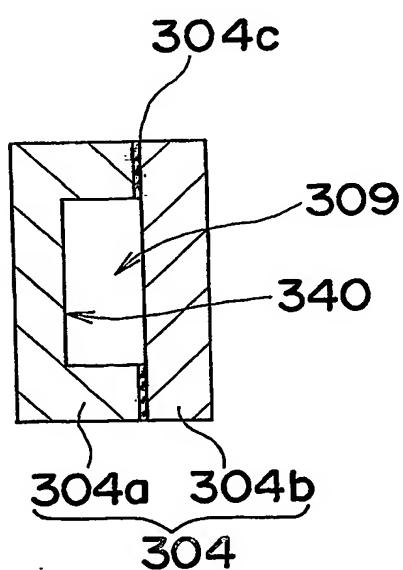


図 12 B



12 / 14

図 1 3

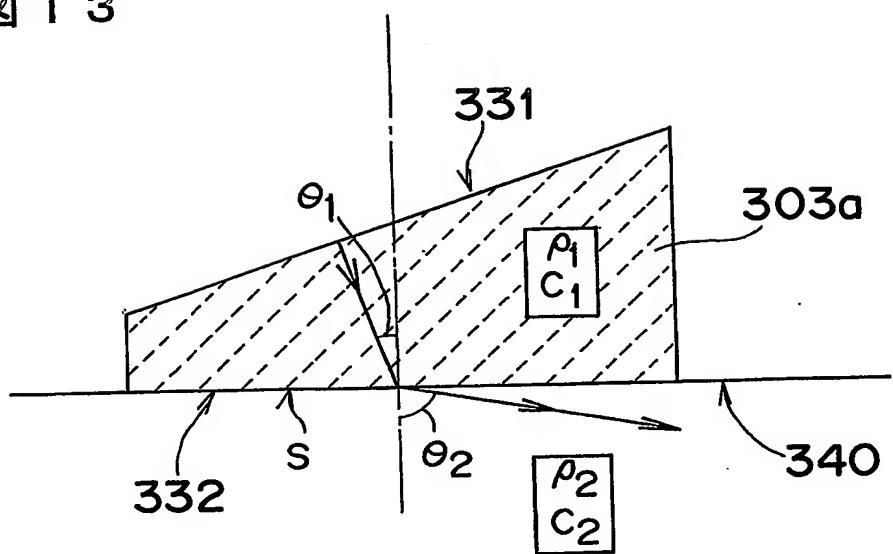
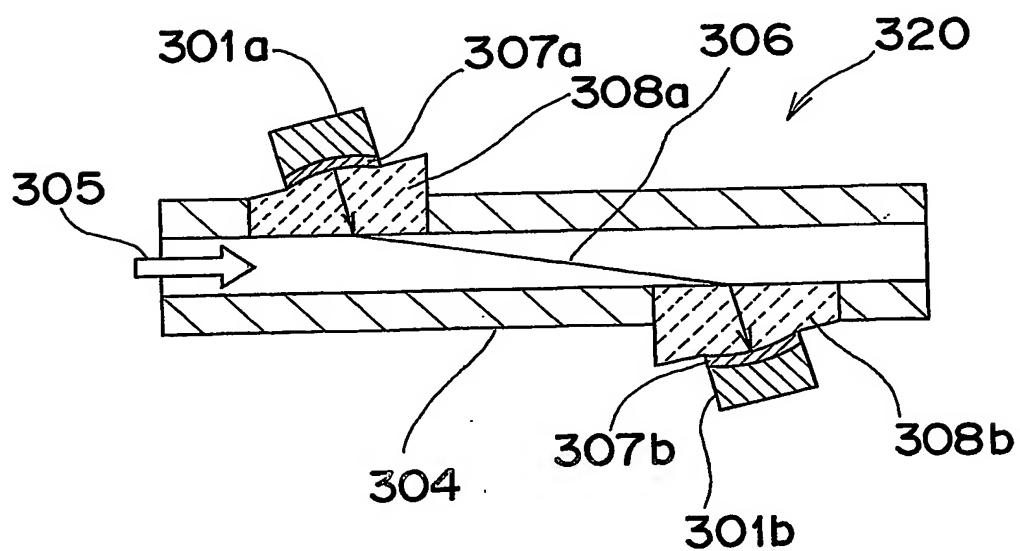


図 1 4



13/14

図 15 A

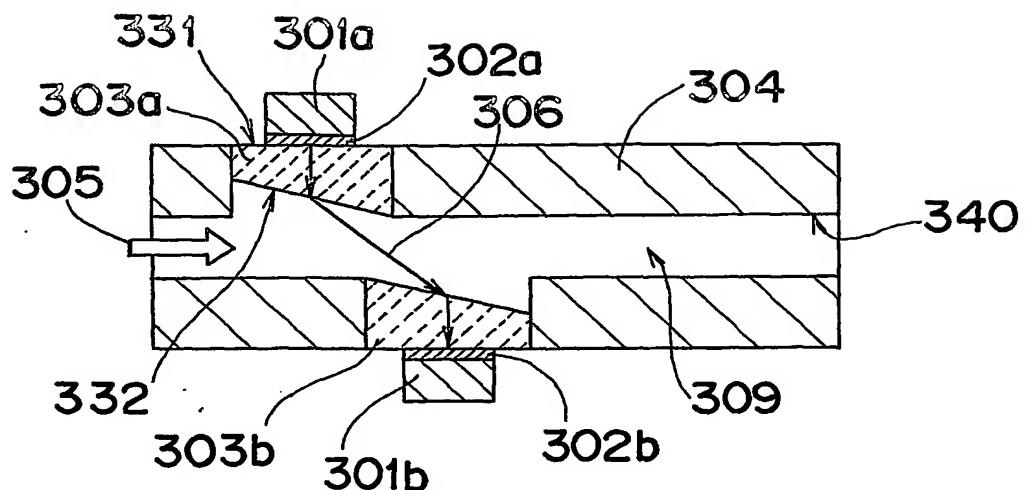


図 15 B

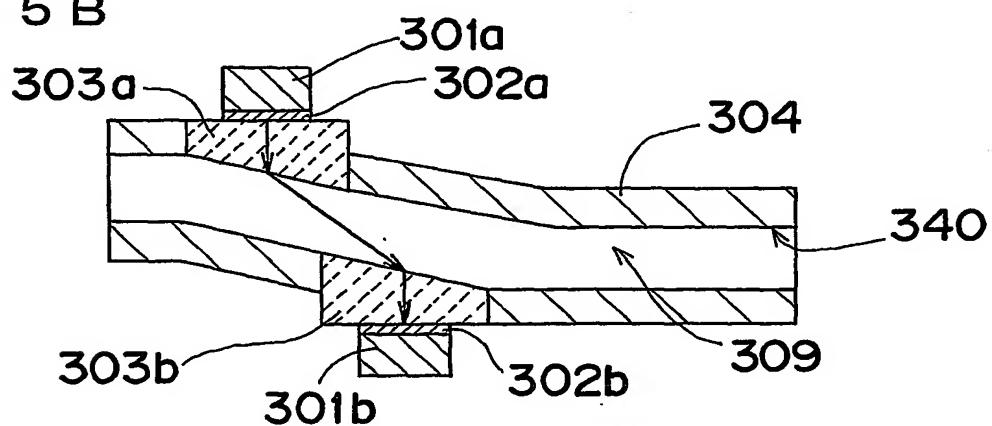
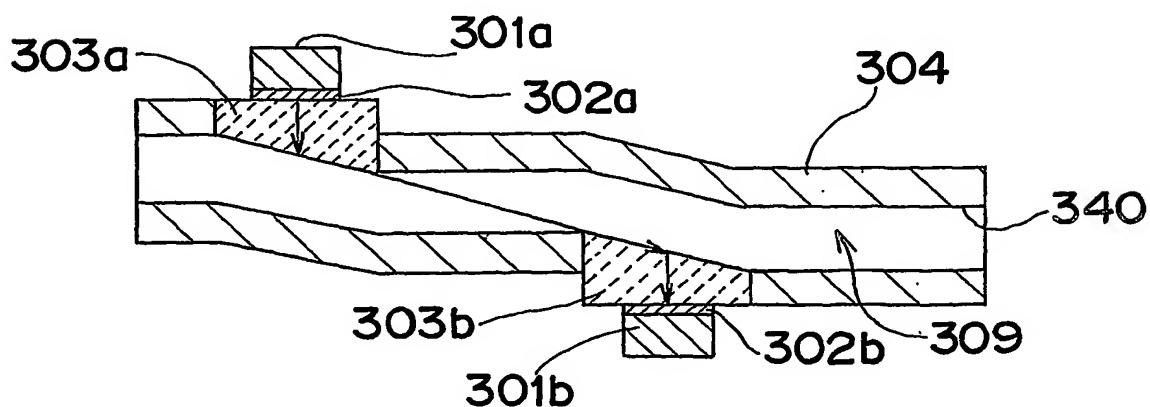


図 15 C



14/14

図 16 A

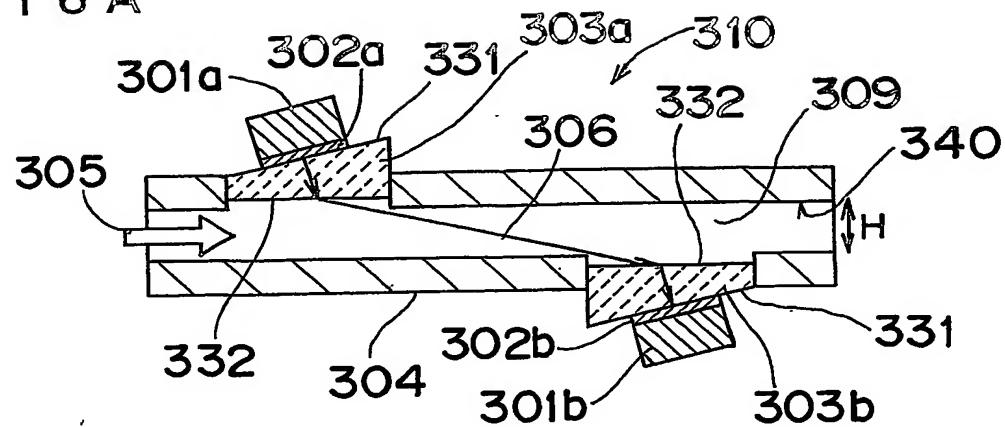


図 16 B

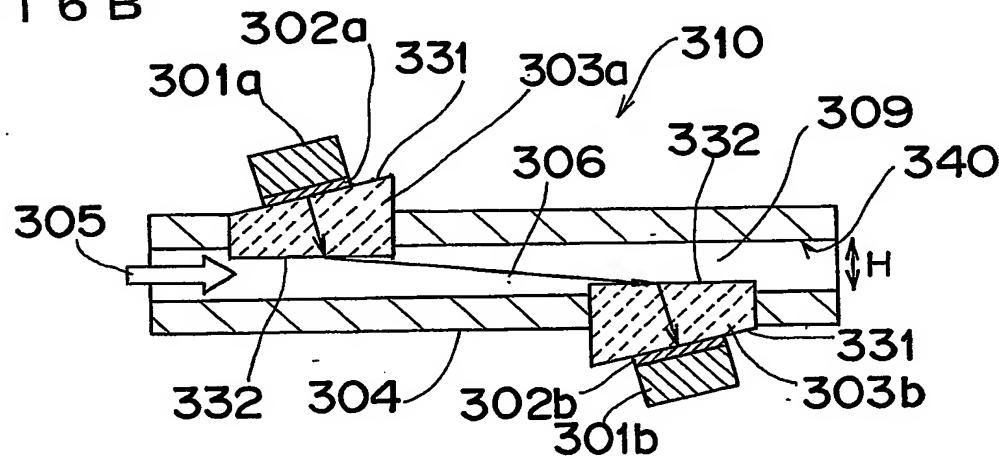
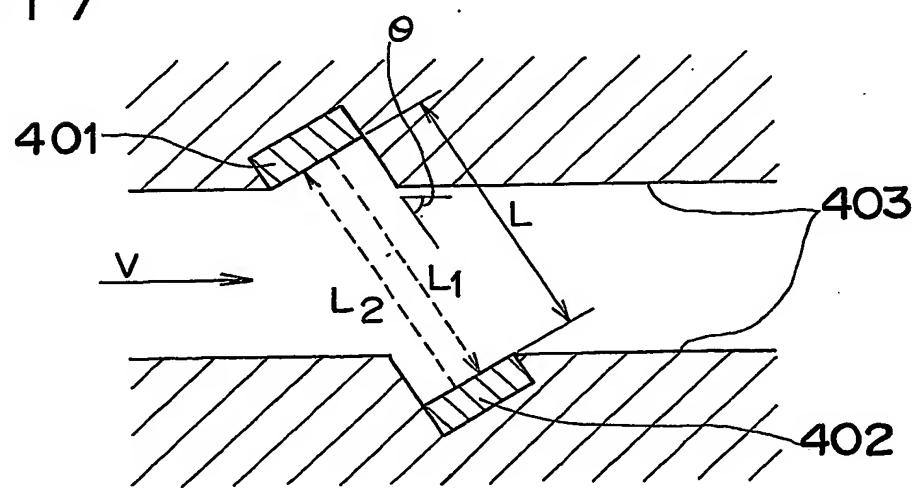


図 17



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05436

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H04R1/44, H04R1/34, G01F1/66, G01S7/52

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H04R1/44, H04R1/34, G01F1/66, G01S7/52

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 52-74763 A (Sperry Land Corp.), 21 June, 1977 (21.06.77), Page 3, upper part; Fig. 3	1,29
Y	& FR 2336019 A & DE 2656854 A & US 4063214 A & NO 764243 A	2-28
X	JP 1-246998 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 02 October, 1989 (02.10.89), Pages 1, 3; Fig. 1 (Family: none)	1,7 2-6,7-29
Y	JP 9-33307 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 07 February, 1997 (07.02.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-29

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

Special categories of cited documents:	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 05 July, 2003 (05.07.03)	Date of mailing of the international search report 22 July, 2003 (22.07.03)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
--	--------------------

Facsimile No.	Telephone No.
---------------	---------------

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP03/05436

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 9-65477 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 07 March, 1997 (07.03.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-29

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 H04R1/44, H04R1/34, G01F1/66, G01S7/52

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 H04R1/44, H04R1/34, G01F1/66, G01S7/52

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 52-74763 A (スペリー・ランド・コーポレイション)	1, 29
Y	1977.06.21, 第3頁上段, 第3図 & FR 2336019 A & DE 2656854 A & US 4063214 A & NO 764243 A	2-28
X	JP 1-246998 A (富士電機株式会社) 1989.10.02	1, 7
Y	第1, 3頁, 第1図 (ファミリーなし)	2-6, 7-29
Y	JP 9-33307 A (富士電機株式会社) 1997.02.07 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-29
Y	JP 9-65477 A (オリンパス光学工業株式会社) 1997.03.07 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-29

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.07.03

国際調査報告の発送日

22.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

松澤 福三郎

5C 7254

電話番号 03-3581-1101 内線 3540

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**